



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

MASTER EN PHYSIQUE

Spécialité : Physique énergétique et énergies renouvelables

Par :

Melle Saim Imane

Sur le thème

Etude expérimentale et comparative entre deux fibres optiques pour le transport de l'énergie solaire

Soutenu publiquement le 06 juin 2024 à Tlemcen devant le jury composé de :

Mr MERAD Abdelkrim	Professeur	Université de Tlemcen	Président
Mr AMARA Sofiane	Professeur	Université de Tlemcen	Encadreur
Mr CHIALI Anisse	Docteur	ESSA-Tlemcen	Examineur

Année universitaire : 2023– 2024

Remerciement

À Dieu, qui m'a béni de la force, de la persévérance et de la sagesse nécessaires pour entreprendre ce voyage académique.

*Je souhaite également adresser mes sincères remerciements à mon encadreur, Mr **AMARA Sofiane**, pour son encadrement attentif, ses conseils éclairés et sa patience infinie tout au long de ce parcours.*

Un grand merci également aux membres du jury

*Mr. **MERAD Abdelkarim** et Mr. **CHIALI Anisse**,*

Pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire et pour vos précieuses remarques et suggestions.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation pendant toute la durée de mes études, afin d'acquérir ce modeste savoir.

Je remercie enfin tous mes amis et camarades de promotion Physique énergétique et énergie renouvelable ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation et à la réalisation de ce travail.

À tous et à toutes, un grand merci.

Dédicaces

À mes parents,

Surtout à ma très chère mère, dont l'amour inconditionnel et les encouragements incessants ont été mes plus grands soutiens.

À mes frères,

Mohammed, Issa et surtout Abdelwahabe, complices de toujours, et à ma sœur Anissa, compagne de cœur, vous êtes mes piliers de force, mes sources inépuisables de motivation. Et aussi toute ma grande famille.

À ma très chère tante Dalila

À mes professeurs,

Je vous exprime ma reconnaissance pour votre enseignement éclairé et votre soutien constant.

Et à mes amies de la promo, avec qui j'ai partagé des moments de travail acharné, d'inspiration et d'amitié, je vous dédie ce mémoire.

Imane

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 11

Chapitre I : Problématique de l'énergie solaire

1. Introduction..... 13

2. Energie environnement 13

2.1 Définition d'énergie 13

2.2 Sources d'énergie 14

2.3 Relation entre l'énergie et l'environnement 15

2.4 Impact environnemental par source d'énergie 17

3. Energie solaire 18

3.1 Rayonnement solaire 18

3.2 Énergie solaire et production 22

4. Aspect économique 25

5. L'importance de l'énergie solaire dans le monde par rapport les autres sources d'énergie 25

6. Les défis de l'énergie solaire 26

7. Conclusion 26

Chapitre II : État de l'art sur les différentes méthodes de transport de l'énergie

1. Introduction..... 28

2. Energie électrique 28

2.1 Technologies de transport de l'énergie électrique 28

2.2 Impact environnemental du transport de l'énergie électrique 31

3. Energie thermique 31

3.1 Méthodes de transport de l'énergie thermique 32

3.2 Technologies du transport de l'énergie thermique 34

3.3 Impact environnemental de la méthode du transport thermique 35

4. Rayonnement solaire 35

4.1 Transport du rayonnement solaire..... 35

4.2 Impact environnemental des méthodes de transport du rayonnement solaire 37

5 Conclusion 37

Chapitre III : Etude comparative de deux fibres optiques pour le transport d'énergie solaire

1. Introduction.....	39
2. Transport de l'énergie solaire par les fibres optiques	39
2.1 Historique des fibres	39
2.2 La définition de fibre optique	39
2.3 Structure de la fibre optique.....	40
2.4 Principe de propagation	40
2.5 Types de fibres optiques	41
2.6 Comparaison entre les trois types de fibre optique	44
2.7 Guide de lumière liquide LLG	45
2.8 Caractéristiques des fibres optiques	47
3. Étude comparative entre la fibre multimode (BF20LSMA) et la Guide De Lumière Liquides (LLG0538-6).....	51
3.1 Présentation de l'entreprise « THORLABS »	51
3.2 La fibre multimode (BF20LSMA).....	51
3.3 Guide de lumière liquide (LLG0538-6).....	52
3.4 Caractéristiques physiques de la fibre multimode (BF20LSMA) et de la Guide De Lumière Liquides (LLG0538-6).....	52
3.5 Comparer entre la fibre multimode (BF20LSMA) et la guide de lumière liquide (LLG0538-6)	53
4. Conclusion	60
Conclusion générale :	63
Références bibliographiques	64
Résumé	70

Liste des figures

Figure I.1 Illustration des sources renouvelables

Figure I.2 Schéma du processus d'effet de serre

Figure I.3 Contribution à l'effet de serre naturel des différents gaz présents dans l'atmosphère

Figure I.4 le soleil

Figure I.5 la distance entre le soleil et la terre.

Figure I.6 Analyse spectrale du rayonnement solaire.

Figure I.7 Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné.

Figure I.8 schéma de production de l'électricité par cellule photovoltaïque

Figure I.9 schéma représente la produire de Léau chauffe

Figure I.10 Centrale solaire thermique

Figure II.1 Les lignes aériennes

Figure II.2 Les Câbles souterrains

Figure II.3 Les câbles sous-marins

Figure II.4 les trois modes de transfert de chaleur

Figure II.5 Présentation schématique de la convection naturelle

Figure II.6 Présentation schématique de la convection forcée

Figure II.7 Conduction thermique dans une barre de métal

Figure II.8 Éclairage naturel par puits de lumière tubulaire

Figure II.9 Système d'éclairage naturel à fibre optique

Figure III.1 Structure d'une fibre optique

Figure III.2 Principe de propagation dans une fibre optique.

Figure III.3 a) Section et profil d'indice d'une fibre multimode à saut d'indice

b) Chemins optiques empruntés par les rayons lumineux

- Figure III.4** Étalement du signal optique dans une fibre multimode à saut d'indice
- Figure III.5** a) Section et profil d'indice d'une fibre multimode à gradient d'indice
b) Chemins optiques empruntés par les rayons lumineux
- Figure III.6** Étalement du signal optique dans une fibre multimode à gradient d'indice
- Figure III.7** a) Section et profil d'indice d'une fibre monomode.
b) Chemin optique emprunté par les rayons lumineux est unique.
- Figure III.8** Étalement du signal optique dans une fibre monomode
- Figure III.9** Principe du guide de lumière liquide
- Figure III.10** Caractéristiques spectrales
- Figure III.11** Cône d'acceptation et d'ouverture numérique d'une fibre optique
- Figure III.12** La dispersion modale
- Figure III.13** La dispersion chromatique
- Figure III.14** Fibre optique multimode (BF20LSMA)
- Figure III.15** Guide de lumière liquide (LLG0538-6)
- Figure III.16** La transmission spectrale de la fibre multimode (BF20LSMA)
- Figure III.17** La transmission Spectrales La fibre guide de lumière liquide (LLG0538-6)
- Figure III.18** Transmission des deux fibres optiques pendant printemps
- Figure III.19** Transmission des deux fibres optiques pendant Eté
- Figure III.20** Transmission des deux fibres optiques pendant Automne
- Figure III.21** Transmission des deux fibres optiques pendant Hiver
- Figure III.22** La surface effective des guides de lumière

Liste des tableaux

Tableau I.1 Valeurs énergétiques des photos issues du spectre solaire.

Tableau I.2 Quelques valeurs d'albédo

Tableau III.1 Comparaison entre les différents types de fibres optiques.

Tableau III.2 les caractéristiques et les Spécifique propriétés spécifiques des Guides de lumière liquide (LLG)

Tableau III.3 Caractéristique de la fibre BF20LSMA et de Guide De Lumière Liquides (LLG0538-6)



Introduction générale

Introduction générale :

Le changement climatique est l'un des problèmes les plus urgents que l'humanité doit résoudre au XXI^e siècle. Les changements climatiques sans précédent surviennent sur la planète en raison de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, principalement causées par l'activité humaine. Ces changements ont des effets désastreux tels que la fonte des calottes glaciaires, l'élévation du niveau de la mer, les phénomènes météorologiques extrêmes et la déstabilisation des écosystèmes.

Devant cette crise, il est crucial de réexaminer nos approches en matière de production et de distribution d'énergie. Bien que les combustibles fossiles aient historiquement été la principale source d'énergie, leur utilisation entraîne une augmentation significative des émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, il est impératif de créer des méthodes de transport d'énergie plus respectueuses de l'environnement et plus durables, telles que l'énergie solaire, qui offre une alternative propre et durable pour répondre à nos besoins énergétiques.

L'énergie solaire est une source d'énergie renouvelable et prometteuse qui pourrait jouer un rôle important dans la lutte contre le changement climatique. Cependant, l'énergie solaire est sporadique et sa production est souvent éloignée des centres de consommation. Le transport et la distribution de l'énergie solaire y sont confrontés.

L'exploitation de l'énergie nécessite la mise au point de moyens de transport efficaces de cette énergie vers les zones de consommation. Dans cette partie, nous examinerons les diverses façons de transporter l'énergie, telles que le transport électrique, thermique et par fibre optique.

Dans cette recherche, nous accorderons une importance particulière au transport de l'énergie solaire par les fibres optiques, une technologie en plein essor qui offre un potentiel considérable pour améliorer l'efficacité et la souplesse de l'utilisation de l'énergie solaire. Au cœur de ce mémoire se trouve une analyse approfondie de deux types de fibres optiques utilisées pour le transport d'énergie solaire. L'objectif de cette étude sera d'examiner les caractéristiques optiques, la transmission de la lumière solaire, l'efficacité de conversion et la faisabilité technique et économique de chaque type de fibre.

Notre mémoire est structuré autour de trois chapitres :

- **Chapitre I** : nous explorons les divers types et origines de l'énergie, examinons la corrélation entre l'énergie et l'environnement, et nous nous penchons également sur l'énergie solaire et le rayonnement solaire.
- **Chapitre II** : nous avons en exergue les différentes méthodes existantes pour le transport de l'énergie.
- **Chapitre III** : nous présentons une étude comparative de deux fibres optiques pour le transport d'énergie solaire.



Chapitre I :
**Problématique de l'énergie
solaire**

1. Introduction

Depuis les crises répétées du pétrole au cours des dernières décennies et en raison des prévisions d'un épuisement inévitable des ressources en énergies fossiles à l'échelle mondiale, les ressources en énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon, etc.) sont considérées comme épuisées. Ce type d'énergie entraîne une pollution accrue et des émissions de gaz à effet de serre. En raison des débats sur l'énergie nucléaire et du réchauffement climatique, la diversification énergétique, la sécurité des approvisionnements et la protection de l'environnement ont devenu une urgence mondiale. La recherche d'autres sources d'énergie de remplacement a été déclenchée par cette situation.

Les énergies renouvelables, en particulier l'énergie solaire, sont de plus en plus utilisées en tant que meilleure solution de remplacement.

Selon l'évaluation, la quantité d'énergie rayonnée par le soleil serait supérieure de 40 000 fois à celle consommée par l'humanité en énergies fossiles chaque année. Bien que cela se produise, l'énergie solaire demeure un domaine relativement peu exploré. Cependant, bien qu'elle soit bien connue et utilisée depuis des millénaires, la prise de conscience collective peut être considérée comme une énergie favorable pour l'avenir. En ce moment, l'énergie solaire se développe considérablement. **[I.1]**

C'est vrai, la Terre reçoit une grande quantité d'énergie lumineuse du soleil. Mais la difficulté réside dans le fait que la façon dont nous recevons l'énergie n'est pas forcément la bonne méthode utilisée. Pour cette raison, nous devons utiliser des procédures de conversion de l'énergie solaire. Par exemple, les cellules solaires photovoltaïques transforment la lumière du soleil en énergie électrique.

Pour cette raison, les études scientifiques se concentrent sur la généralisation, l'amélioration et l'optimisation de l'exploitation des systèmes solaires. L'optimisation est nécessaire pour obtenir un bon rendement. Les critères de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée sont la base de l'optimisation des systèmes solaires. Les normes de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée sont la base des systèmes solaires.

L'avantage majeur de cette énergie renouvelable est qu'elle ne pollue pas l'atmosphère et elle ne déshérite pas de gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote qui provoquent le réchauffement climatique.

2. Energie environnement :

2.1 Définition d'énergie :

L'énergie est une grandeur physique fondamentale qui se manifeste sous différentes formes et qui est essentielle à tous les processus de l'univers. En peut dire que l'énergie c'est la capacité d'un système à effectuer un travail. Cela signifie que tout ce qui existe dans le monde a besoin d'énergie pour fonctionner et subsister. **[I.2]**

2.2 Sources d'énergie :

Les matières premières et les phénomènes naturels sont les deux principales catégories des sources d'énergie. En général, les premiers produisent des énergies fossiles, tandis que les seconds produisent des énergies renouvelables. De plus, il y a également l'énergie nucléaire [I.3] :

- i. **Énergie fossile** : toute énergie produite à partir de pétrole, de charbon ou de gaz naturel est qualifiée d'énergie fossile (présente 78,3% de l'énergie consommé dans le monde). Ces matériaux proviennent de la transformation de matière organique et de composés de carbone. Parce qu'ils sont d'excellents carburants, ils sont également appelés « Hydrocarbures » [I.4]. En raison du fait que leurs réserves ne sont pas infinies, les énergies fossiles ne peuvent pas être renouvelées.
- ii. **Énergie nucléaire** : l'énergie atomique, également connue sous le nom d'énergie nucléaire, est une énergie utilisée dans les centrales nucléaires pour produire de l'électricité (présente 2,5% de l'énergie consommé dans le monde). La fusion nucléaire et la fission nucléaire d'un métal radioactif sont les deux méthodes par lesquelles cette énergie peut être produite [I.5]. La chaleur produite par la fusion ou la fission fait bouillir l'eau, ce qui fait tourner une turbine et produit de l'électricité.
- iii. **Les énergies renouvelables** ou bien appelées **Les énergies vertes** sont des énergies qui sont propres et renouvelables. Sont des sources d'énergie naturelles qui se renouvellent constamment et qui sont considérées comme inépuisables à l'échelle humaine, et sont généralement considérées comme plus durables et respectueuses de l'environnement que les énergies fossiles et nucléaires. Ces énergies ne représentent que 19,2% de l'énergie consommé dans le monde [I.6]

Les sources principales d'énergie renouvelable sont les suivantes : le vent, le soleil, les chutes d'eau, les marées, la chaleur de la terre... etc.

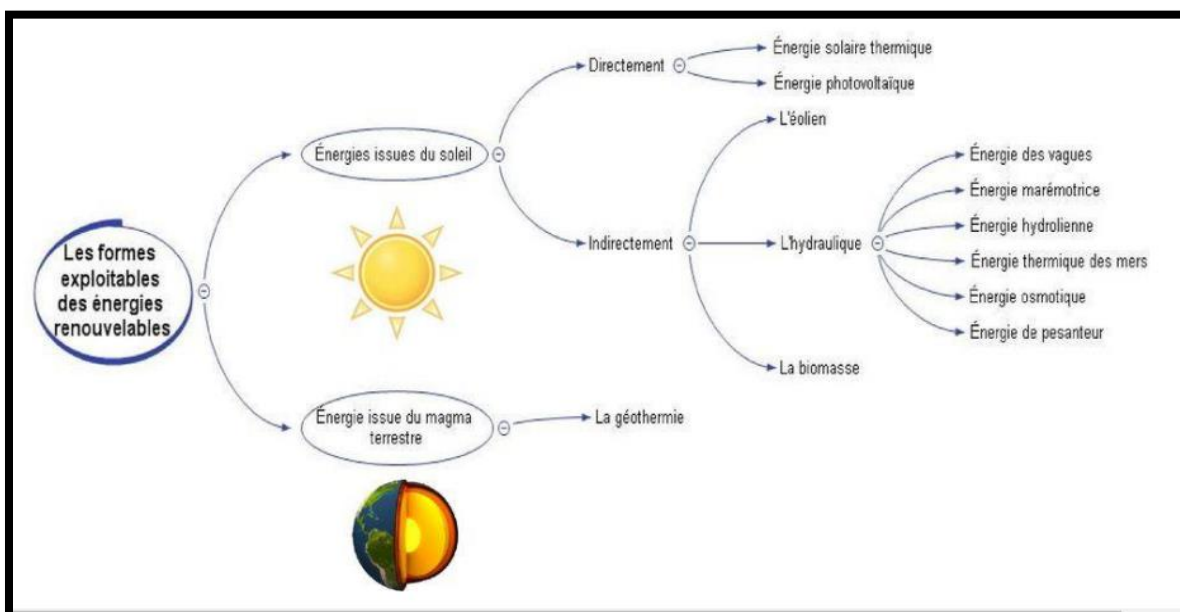


Figure I.1 : Illustration des sources renouvelables [I.7]

2.3 Relation entre l'énergie et l'environnement :

i. Effet de serre :

L'expression « effet de serre » est employée usuellement dans le sens « d'effet de serre anthropique », qui désigne le réchauffement global du climat [I.8].

L'effet de serre est une réaction naturelle. Bien que l'atmosphère laisse passer les rayons du soleil, elle retient la chaleur principalement accumulée par la vapeur d'eau et le CO₂, qui existent naturellement dans l'atmosphère. [I.9]

Lorsque le soleil émet de l'énergie, la surface de la Terre commence à se réchauffer. La moitié de l'énergie qui traverse directement la couche d'air qui entoure la Terre est absorbée par les gaz de l'atmosphère, tandis que l'autre moitié est réfléchiée. Ces gaz sont essentiels, car sans eux, la température moyenne du globe serait de -18°C au lieu de 15°C, ce qui signifie que leur absorption permet de conserver une partie de la chaleur [I.10].

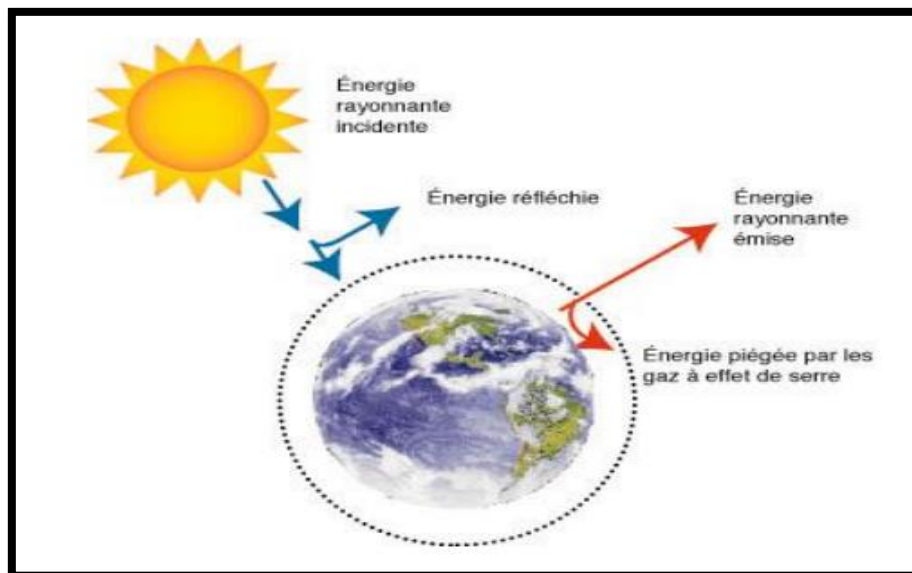


Figure I.2 : Schéma du processus d'effet de serre [I.11]

Les principaux gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre sont : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), la vapeur d'eau (H₂O), et d'autres gaz comme l'ozone (O₃) et les halocarbures. [I.12]

- ❖ La vapeur d'eau (H₂O) est produite par l'évaporation de l'eau liquide à la surface de la Terre. [I.12]
- ❖ En partie, le dioxyde de carbone (CO₂) est produit par la décomposition naturelle des matières animales et végétales. [I.12]
- ❖ Le méthane (CH₄) est produit lorsque les matières végétales sont décomposées. [I.12]
- ❖ L'oxyde de diazote (N₂O) est principalement produit par l'activité microbienne des sols lors de la dénitrification. [I.12]

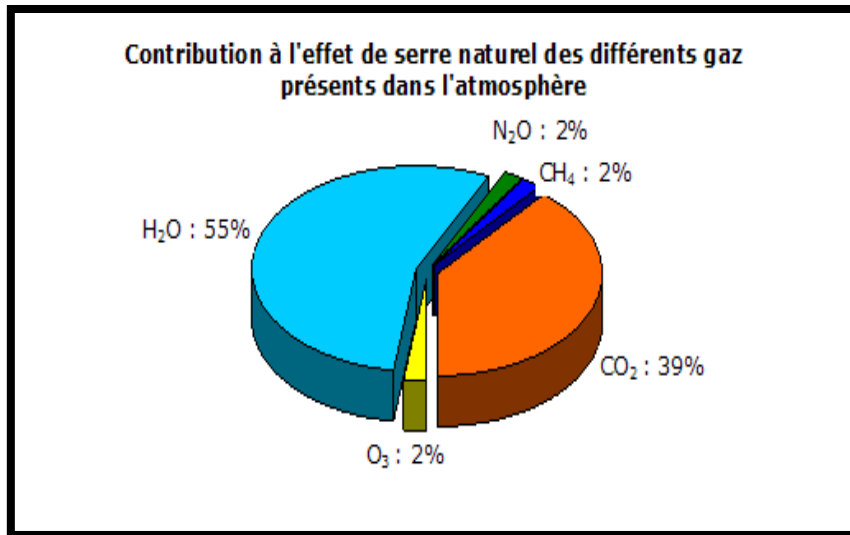


Figure I.3 : Contribution à l'effet de serre naturel des différents gaz présents dans l'atmosphère [I.11]

i. Les causes de l'effet de serre :

Les principales causes des émissions de gaz à effet de serre liées à l'activité humaine sont les suivantes : les combustibles fossiles, la déforestation et l'élevage intensif de bétail, etc. [I.10].

ii. Conséquences de l'effet de serre :

De nombreuses conséquences du phénomène d'effet de serre, les plus notables sont :

- Changements climatiques : par rapport à l'ère préindustrielle (avant 1850), la température a déjà augmenté d'environ 1,1 °C en raison de l'effet de serre causé par les activités humaines. Les effets des changements climatiques sont déjà perceptibles : Les inondations, les vagues de chaleur et les températures extrêmes sont de plus en plus fréquentes. [I.13]
- Impact sur les écosystèmes : l'importance du changement climatique accroît la menace pour l'équilibre de nos écosystèmes. [I.13]
- Fonte des glaces et élévation du niveau de la mer : par conséquent, une augmentation de la température moyenne supérieure à 1,5 °C entraînerait des phénomènes climatiques extrêmes et l'accélération de phénomènes tels que la fonte des glaces, qui contribuerait à l'élévation du niveau de la mer et mettrait en danger l'existence de certaines populations situées à proximité de la côte. [I.13]
- Augmentation des maladies et des risques sanitaires : les changements climatiques peuvent influencer la répartition des maladies infectieuses telles que le paludisme et la dengue, ainsi que l'augmentation des vagues de chaleur, des sécheresses et des événements météorologiques extrêmes, ce qui entraîne des risques accrus pour la santé humaine. [I.14]
- Coût économique : les dommages causés par les événements météorologiques extrêmes, les pertes de récoltes, les coûts liés à l'adaptation aux changements climatiques et les pertes d'infrastructures peuvent avoir un impact financier considérable sur les sociétés et les économies mondiales.

- Déplacements de populations : les effets de l'effet de serre, tels que l'élévation du niveau de la mer et l'aggravation des phénomènes météorologiques extrêmes. Les catastrophes climatiques ont déjà causé le déplacement interne de plus de 20 millions de personnes entre 2008 et 2020. Face à la multiplication de ces événements et à l'élévation du niveau de la mer, les réfugiés climatiques pourraient se compter en centaines de millions. [I.15]

2.4 Impact environnemental par source d'énergie :

Pour quantifier l'impact environnemental des énergies, il faut s'intéresser au taux d'émission de CO₂ lors de la production d'électricité dans les systèmes dédiés à cela, mais également lors de la construction et du démantèlement de ces systèmes. L'environnement est affecté négativement par toute énergie actuellement utilisée. [I.16]

- Énergie fossile (pétrole, charbon, gaz naturel) :

Les activités d'extraction peuvent entraîner la destruction des écosystèmes, la dégradation des terres et des eaux, ainsi que des émissions de gaz à effet de serre. Les émissions de CO₂, de SO₂, de NO_x et d'autres polluants atmosphériques contribuent au changement climatique, à la pollution de l'air et à l'acidification des sols et des eaux. La combustion des énergies fossiles génère des déchets solides, liquides et gazeux qui peuvent polluer les sols, les eaux et l'air.

- Énergie nucléaire :

L'extraction et le traitement du combustible nucléaire sont des activités qui peuvent produire des déchets radioactifs et des produits chimiques toxiques. Les risques associés aux accidents nucléaires incluent la possibilité de déversement de matières radioactives, ce qui peut avoir des effets désastreux sur l'environnement et la santé humaine. En raison de leur dangerosité et de leur longue durée de vie, la gestion des déchets nucléaires reste un défi majeur à long terme.

- Énergie hydraulique :

Les barrages peuvent perturber les habitats naturels, empêcher la migration des poissons et altérer les cours d'eau.

- Biomasse et géothermie :

La déforestation, la perte de biodiversité et la concurrence avec la production alimentaire peuvent résulter de la production de biomasse.

Émissions de gaz à effet de serre : la combustion de biomasse peut produire du CO₂ et d'autres gaz à effet de serre, mais si elle est gérée de manière durable, elle peut être considérée comme neutre en carbone.

- Énergie éolienne :

Les parcs éoliens ont le pouvoir de changer le paysage et affectent la faune et les activités humaines dans la région. Les éoliennes peuvent constituer un danger pour les oiseaux migrateurs et les chauves-souris s'ils entrent en collision avec les pales.

- Énergie solaire :

En raison du fait qu'elle ne rejette aucun gaz à effet de serre, l'énergie solaire est considérée comme une énergie propre. Mais la production de déchets toxiques et les émissions de gaz à effet de serre peuvent être causées par la fabrication des panneaux solaires.

3. Energie solaire :

L'énergie solaire est gratuitement disponible et inépuisable. L'exploitation de l'énergie solaire est une des nombreuses solutions pour faire face au changement climatique, car elle a peu d'impact environnemental.

La production d'énergie solaire est une ressource renouvelable qui est générée par la conversion du rayonnement solaire. Il est possible de convertir l'énergie solaire en électricité ou en chaleur. [I.17]

L'énergie solaire a un potentiel considérable et peut être considérée comme une alternative intéressante aux autres sources d'énergie. En effet, avec un haut niveau d'éclairement, la Terre reçoit plus de 3000 heures de lumière solaire par an. La moyenne annuelle journalière est de 5 à 7 kWh/m² par jour avec une optimisation des angles de réception. [I.18]

3.1 Rayonnement solaire :

3.1.1 Soleil :



Figure I.4 : le soleil.

Le Soleil est une étoile de forme pseudo-sphérique. Il mesure environ 50 fois le diamètre de la Terre, soit 1390 000 km. Il se trouve à une distance de 149598000 km en moyenne de la Terre. Le cœur du soleil atteint une température de 107 K et est le siège permanent des réactions de fusion nucléaire, car il est composé de matière gazeuse, principalement de l'hydrogène et de l'hélium.

Bien que le soleil soit très éloigné de la terre, l'énergie solaire se présente comme une bonne alternative aux sources d'énergie fossile, car la couche terrestre reçoit une quantité importante d'énergie, soit 180 millions de gigawatts.

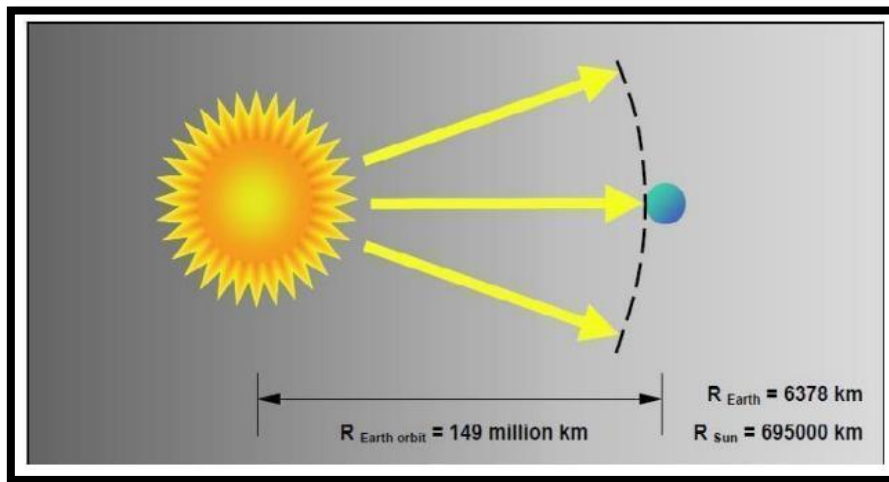


Figure I.5 : la distance entre le soleil et la terre.

3.1.2 Spectre solaire :

Les photons du rayonnement solaire ont une longueur d'onde allant de $0,2 \mu\text{m}$ (ultraviolet) à $2,5 \mu\text{m}$ (infrarouge lointain).

La décomposition approximative de l'énergie produite par ce rayonnement solaire est la suivante :

- 9 % dans la bande ultraviolette (moins de $0,4 \mu\text{m}$)
- 47 % dans la bande visible (de $0,4$ à $0,8 \mu\text{m}$)
- 44 % dans la bande infrarouge (plus de $0,8 \mu\text{m}$).

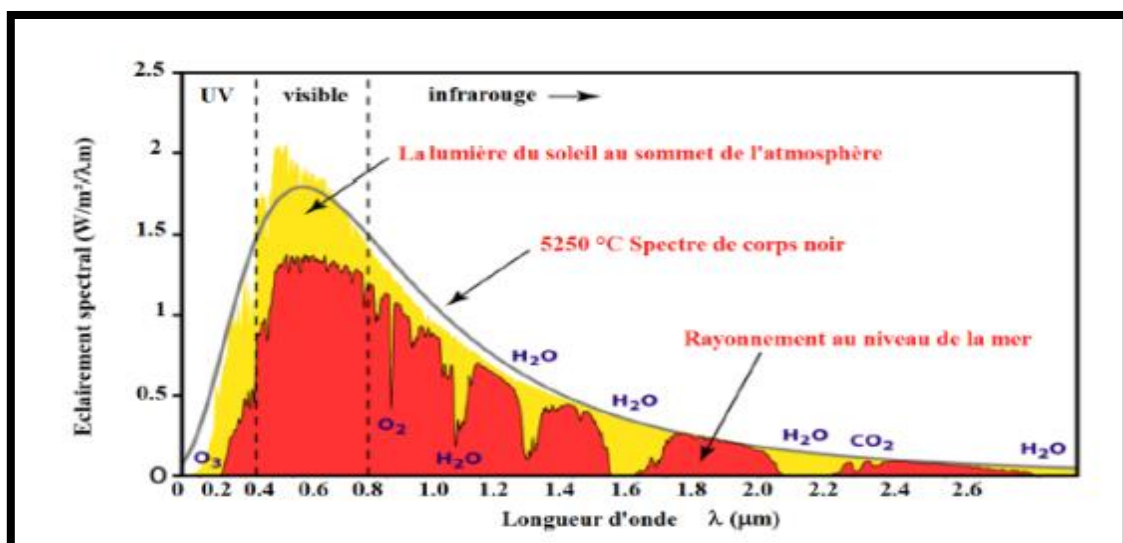


Figure I.6 : Analyse spectrale du rayonnement solaire. [I.19]

Dans le tableau I.1 sont présentées les valeurs énergétiques caractéristiques des photos pour différentes longueurs d'ondes et les zones correspondantes au spectre lumineux.

λ (μm)	E_{ph} (eV)	Zone
0.2	6.2	Ultra-violet
0.4	3.1	Visible bleu
0.5	2.48	Visible jaune-vert
0.78	1.59	Visible rouge
1	1.24	Infrarouge
2	0.62	Infrarouge
4	0.31	Infrarouge

Tableau I.1 : Valeurs énergétiques des photos issues du spectre solaire. [I.20]

3.1.3 Rayonnement solaire au sol :

Le rayonnement solaire sur une surface au sol est composé de différents éléments suite à l'atténuation du rayonnement solaire par divers phénomènes atmosphériques :

a. Rayonnement direct :

C'est la quantité d'énergie reçue par une surface réceptrice normale lorsqu'elle reçoit directement les rayons solaires du disque solaire. Un pyréliomètre peut être utilisé pour mesurer ce rayonnement.

b. Rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus provient de la voûte céleste entière. Ce rayonnement provient de l'absorption, de la diffusion et de la réflexion du rayonnement solaire par l'atmosphère. Par conséquent, il représente vingt pour cent de l'énergie globale dans le ciel serein. La totalité de l'énergie reçue au sol est représentée par le terme ciel couvert. [I.19]

c. Rayonnement réfléchi (l'albédo du sol) :

Il s'agit du rayonnement diffus réfléchi par la surface de la Terre. Le type de sol l'influence directement (neige, prairie, terre...).

La valeur de l'albédo du sol peut varier de 0 à 1.

$$\text{L'albédo ALB} = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie reçue}}$$

Tableau I.2 : Quelques valeurs d'albédo. [I.19]

Surface du sol	Albédo
Surface d'eau	0.01 à 0.1
Forêt	0.05 à 0.2
Sol cultivé	0.07 à 0.14
Pierres et rochers	0.15 à 0.25
Champs et prairies	0.1 à 0.3
Sol nul	0.15 à 0.4
Neige ancienne	0.5 à 0.7
Neige fraîche	0,8 à 0.95

d. Rayonnement global :

- Une surface qui se trouve horizontalement :

C'est la totalité du rayonnement solaire qui parvient sur une surface horizontale de la Terre. Par conséquent, sa partie verticale comprend le rayonnement solaire direct et diffus. [I.21]

- Une surface inclinée :

Le terme « rayonnement global » est utilisé pour décrire le total des rayonnements sur une surface inclinée qui sont directs, diffus et réfléchis.

$$\text{Rayonnement Global} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Rayonnement direct} \\ \text{Rayonnement diffus} \\ \text{Rayonnement réfléchi} \end{array} \right.$$

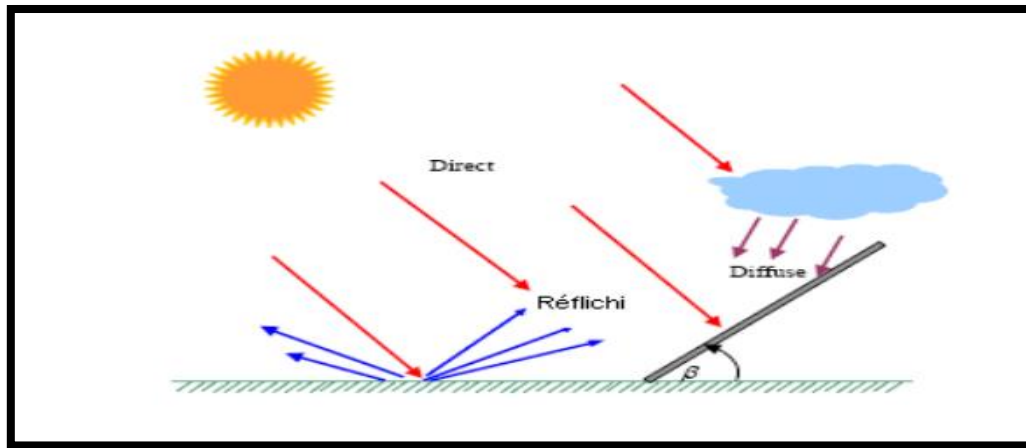


Figure I.7 : Les trois composantes du rayonnement solaire global sur un plan incliné. [I.19]

3.2 Énergie solaire et production :

L'énergie solaire est une source d'énergie qui provient du rayonnement du Soleil. La capture de l'énergie solaire est le processus par lequel la lumière du soleil est convertie en une forme d'énergie utilisable, telle que l'électricité ou la chaleur. Il existe deux principales technologies pour capturer l'énergie solaire : le photovoltaïque et le solaire thermique. [I.22]

3.2.1 Énergie solaire photovoltaïque :

Cet effet photovoltaïque a été découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839. Cette forme d'énergie reste aujourd'hui quantitativement négligeable, mais on lui prédit un grand avenir : son coût baissera fortement dans les années à venir. Cette énergie sera durable et ne devra nécessiter aucun entretien. Elle peut répondre aux besoins en énergie électrique d'une maison, contrairement aux autres formes d'énergies solaires qui ne produisent que de la chaleur grâce aux capteurs du panneau qui transforment les rayonnements du soleil en cellule photovoltaïque. Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui exposé à la lumière, génère une tension électrique. Ces cellules se présentent sous la forme de deux fines plaques. Le courant qui en ressort est continu, donc cette énergie produit de l'électricité. [I.23]

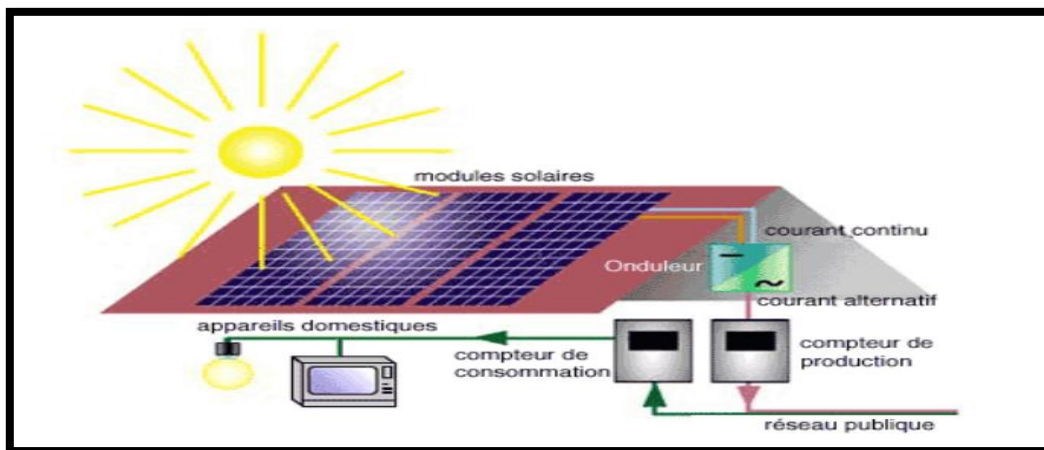


Figure I.8 : schéma de production de l'électricité par cellule photovoltaïque. [I.24]

- **Avantage :**

- La satisfaction du public.
- Adapté aux régions isolées et aux pays chauds.
- Disponibilité
- L'utilisation d'électricité non polluante.

- **Inconvénient :**

- Encore plus cher.
- Rendement assez bas.
- Le marché est très limité, mais en expansion.
- Les panneaux sont généralement limités à vingt ans de durée de vie. [I.25]

3.2.2 Énergie solaire thermique :

L'énergie solaire thermique est un type d'énergie solaire.

- **L'énergie solaire thermique :**

Cette énergie est la transformation des rayons du soleil en énergie thermique, c'est-à-dire en chaleur. Cette énergie peut être utilisée directement, soit pour le chauffage, mais aussi pour obtenir de l'eau chaude. Le principe général est de concentrer les rayons solaires en un seul endroit. Ceux-ci sont alors piégés par des capteurs solaires thermiques vitrés qui transmettent l'énergie solaire à des absorbeurs métalliques. Ces mêmes absorbeurs réchauffent alors un réseau de tuyaux où circule un fluide caloporteur (c'est-à-dire un fluide qui reçoit de la chaleur en un point de son circuit et qui la cède en un autre point). Cet échangeur va ensuite chauffer à son tour de l'eau stockée dans un cumulus. Cette même eau ira alimenter les chauffe-eau (pour l'eau sanitaire) et les systèmes de chauffage solaires. [I.23]

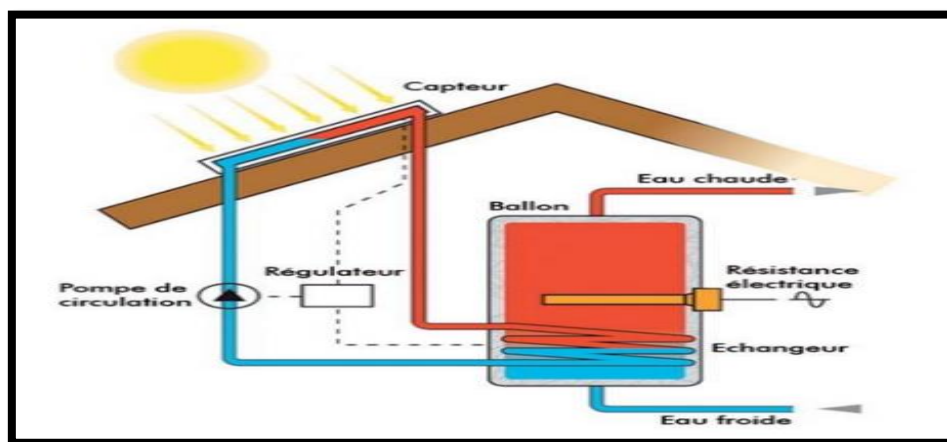


Figure I .9 : schéma représente la produire de Léau chauffe. [I.24]

➤ **L'énergie solaire thermodynamique :**

L'énergie solaire thermodynamique est un moyen de produire de l'électricité et d'accumuler l'énergie thermique nécessaire à cette production pendant plusieurs heures après le coucher du soleil, dans des centrales solaires à concentration. Le principe est de concentrer la chaleur du soleil par des miroirs pour chauffer une fluide haute température (plusieurs centaines de degrés) afin de générer de la vapeur par échange thermique pour ensuite produire de l'électricité au moyen d'une turbine. Le fluide utilisé peut conserver sa chaleur pendant plusieurs heures après le coucher du soleil. Cela permet de produire de l'électricité en début de soirée, au moment où la consommation est la plus importante. [I.23]

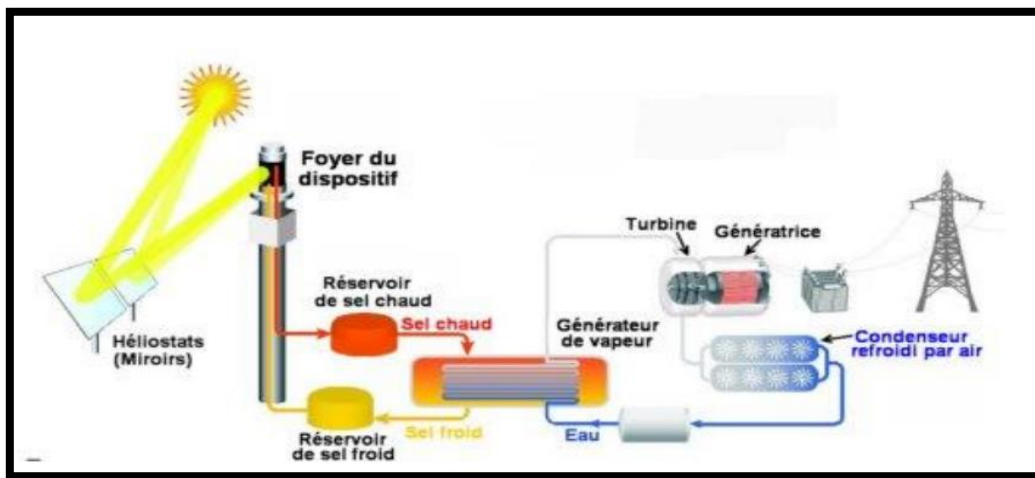


Figure 1.10 : Centrale solaire thermique [I.24]

• **Avantage :**

- Rendement important (jusqu'à 80 %).
- Énergie inépuisable.
- Très grand potentiel pour l'avancement.

• **Inconvénients :**

- Le chauffage de l'eau chaude sanitaire est généralement le seul moyen de le faire.
- En raison d'investissements assez lourds, cette énergie est plus coûteuse que le chauffage par énergie fossile.
- Certaines conditions météorologiques (grêle, gel) peuvent causer des dommages aux panneaux, car elles sont très sensibles. [I.25]

4. Aspect économique :

Sur le long terme, l'épuisement des ressources entraîne une augmentation des prix du charbon, du gaz naturel et du pétrole. La source d'énergie solaire est inépuisable et la Commission européenne pour les énergies renouvelables prévoit qu'elle représentera 20 % des énergies renouvelables en 2020 et 50 % en 2040. [I.26]

Les systèmes de production d'énergie solaire n'ont pratiquement aucun coût proportionnel, car ils ne nécessitent pas de combustible et ne nécessitent que des frais d'entretien, de gardiennage et de réparation qui dépendent peu de la production. Néanmoins, il est important de prendre en compte les dépenses d'investissement, qui sont considérablement plus élevées que pour les méthodes fossiles ou les autres sources d'énergie renouvelable. [I.26]

La production d'eau chaude sanitaire à faible coût est possible grâce à l'utilisation de capteurs thermiques. L'entretien est très peu coûteux après l'installation et permet d'économiser beaucoup d'argent sur les combustibles fossiles ou l'électricité. [I.26]

Cependant, pour la génération d'électricité, les frais d'installation sont considérables (pour le solaire thermodynamique) ou élevés (pour le photovoltaïque), et ces méthodes ne sont pas encore suffisamment développées pour être généralisées. [I.26]

Malgré son abondance et ses coûts élevés d'investissement, l'énergie solaire est aujourd'hui peu compétitive, sauf dans certaines situations particulières, et ne se développe qu'avec l'aide de l'État. Cependant, de plus en plus d'acteurs pensent qu'il serait imprudent d'attendre les conséquences du pic de production du pétrole sur les coûts économiques et politiques des énergies fossiles, ainsi que les changements climatiques causés par la combustion de ces énergies (effet de serre). Lorsque ces phénomènes apparaîtront, il sera trop tard pour agir, ce qui justifie le soutien des États à cette technique qui a un grand potentiel de réduction de prix en augmentant notamment la production. [I.26]

5. L'importance de l'énergie solaire dans le monde par rapport les autres sources d'énergie :

L'énergie solaire joue un rôle de plus en plus crucial dans le paysage énergétique mondial en raison de plusieurs avantages par rapport aux autres sources d'énergie. Voici quelques points importants sur l'importance de l'énergie solaire et comment elle peut contribuer à résoudre certains problèmes :

- ✓ La source d'énergie solaire est renouvelable et inépuisable. Contrairement aux sources d'énergie fossile, le soleil ne s'épuisera pas rapidement. Les nations peuvent réduire leur dépendance à l'égard des ressources non renouvelables en investissant dans l'énergie solaire et contribuer à la durabilité à long terme de leurs systèmes énergétiques.
- ✓ Les émissions de gaz à effet de serre peuvent être réduites grâce à l'utilisation de l'énergie solaire, ce qui contribue à atténuer les effets du changement climatique. Contrairement aux combustibles fossiles, l'énergie solaire ne produit pas de polluants atmosphériques lors de son exploitation.

- ✓ En exploitant l'énergie solaire, les nations peuvent réduire leur dépendance aux importations de combustibles fossiles, ce qui renforce leur indépendance énergétique. Cela peut également contribuer à stabiliser les coûts de l'énergie, car l'énergie solaire ne dépend pas des fluctuations des prix des combustibles.
- ✓ Contrairement à certaines sources d'énergie non renouvelables telles que le charbon, l'énergie solaire n'entraîne pas de pollution locale ni de déchets toxiques lors de son utilisation, ce qui contribue à améliorer la qualité de l'air et de l'eau.

6. Les défis de l'énergie solaire :

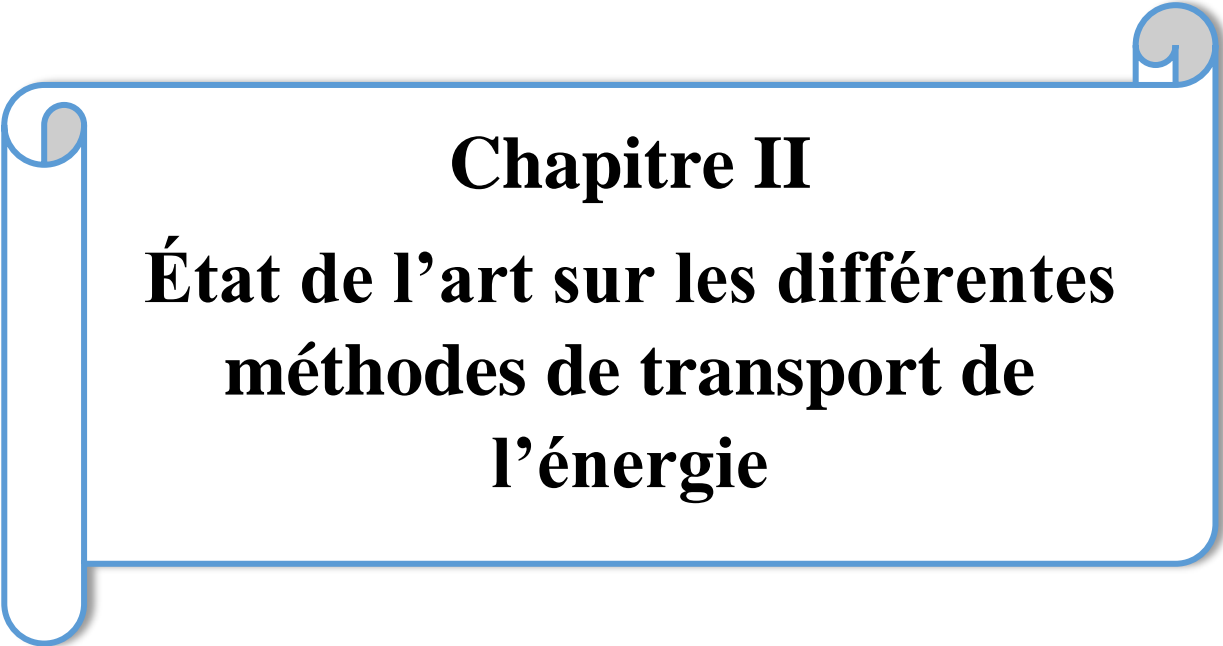
L'énergie solaire présente de nombreux avantages en tant que source d'énergie renouvelable, mais elle est également confrontée à plusieurs défis.

- ✓ L'énergie solaire dépend de la disponibilité de la lumière du soleil, ce qui rend sa production intermittente, notamment la nuit, par temps nuageux ou lors des saisons avec moins d'ensoleillement. Cela nécessite des solutions de stockage de l'énergie ou d'autres sources d'énergie pour compenser les périodes sans soleil.
- ✓ La nécessité de stocker l'énergie solaire pour une utilisation pendant les périodes sans soleil est un défi majeur. Les technologies de stockage, telles que les batteries, sont en développement, mais elles peuvent être coûteuses et nécessitent encore des améliorations en termes d'efficacité et de durabilité.
- ✓ Le recyclage et la fabrication des panneaux solaires peuvent avoir un impact sur l'environnement. En raison du fait que certains panneaux solaires utilisent des matériaux rares ou toxiques, il est crucial de mettre en place des pratiques de recyclage efficaces afin de minimiser l'impact environnemental.
- ✓ L'énergie solaire est variable et intermittente car elle dépend de la disponibilité du soleil. Les panneaux solaires ne peuvent produire de l'électricité que la journée, et les nuages, la pluie et la saison peuvent affecter leur efficacité.

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques concepts généraux sur l'énergie. Après avoir présenté l'effet de serre et l'impact des diverses sources d'énergies sur l'environnement, nous présenterons les fondamentaux du rayonnement solaire. Enfin, nous terminerons ce chapitre en définissant les types de l'énergie solaire.

Dans le second chapitre, on s'intéressera aux méthodes de transport de l'énergie.



Chapitre II
État de l'art sur les différentes
méthodes de transport de
l'énergie

1. Introduction

Dans la quête incessante pour répondre à la demande croissante en énergie, les méthodes de transport jouent un rôle pivot dans notre société moderne.

Ces méthodes de transport sont cruciales pour répondre à la demande croissante en énergie et soutenir le développement économique. Le réseau électrique mondial assure le transfert d'électricité sur de longues distances, tandis que les systèmes de chauffage et de refroidissement permettent le transport thermique. De plus, la captation et la conversion du rayonnement solaire sont devenues des éléments clés dans la recherche de sources d'énergie durables. Comprendre ces méthodes de transport est fondamental pour garantir une alimentation énergétique stable et diversifiée à l'échelle mondiale.

2. Energie électrique :

L'énergie électrique revêt une importance dans nos vies modernes, car elle est essentielle à presque tous les aspects de notre vie quotidienne. Le transport de l'énergie électrique est un élément essentiel de nos sociétés, car il alimente nos maisons, nos entreprises et nos infrastructures les plus importantes. Diverses méthodes de transport sont utilisées pour transporter l'électricité des centres de production vers les zones de consommation, chacune présentant ses propres caractéristiques, avantages et inconvénients.

2.1 Technologies de transport de l'énergie électrique :

Les lignes électriques, également connues sous le nom de lignes principales du réseau de transport d'électricité, sont cruciales pour le transport de l'électricité sur de longues distances. Ils peuvent être souterrains, aériens ou sous-marins. Ces lignes transportent l'électricité générée par diverses centrales électriques vers les endroits où elle est nécessaire. De plus, ils permettent l'interconnexion de plusieurs réseaux électriques, augmentant ainsi la stabilité et la fiabilité du système électrique global. [II.1]

i. Les lignes aériennes :

Le transport de l'énergie électrique sur de longues distances par des lignes de transmission aériennes est une méthode largement utilisée dans le monde entier.

Les lignes de transmission aériennes sont constituées de câbles conducteurs fixés à des supports et isolés par des isolateurs suspendus, qui permettent le transport de longues distances d'énergie électrique à haute tension. [II.2] [II.3] Elle possède les attributs suivants : [II.4]

- ❖ La tension reste constante sur toute la longueur de la ligne et pour toutes les charges comprises entre zéro, c'est la charge nominale. [II.4]
- ❖ Un excellent rendement.
- ❖ Les conducteurs ne doivent pas être surchargés par les pertes de joules.



Figure II.1 : Les lignes aériennes. [II.5]

❖ **Les avantages des lignes aériennes : [II.6]**

- Les frais d'installation et de réparation sont inférieurs à ceux des lignes souterraines.
- Elles permettent une surveillance aisée de leur état et un repérage facile des accidents et des défauts.
- En cas d'accident ou de défaut, ils peuvent être réparés très rapidement.
- Il n'y a pas de risque pour elles si le courant est trop fort.

❖ **Les inconvénients des lignes aériennes : [II.6]**

- Ils créent des problèmes d'esthétique et de respect des sites.
- Les propriétaires des terrains surplombés s'opposent à leur installation.
- Ils peuvent provoquer des perturbations radioélectriques qui perturbent les réceptions de radiodiffusion et de télévision.
- Certains pensent que les champs magnétiques et électriques peuvent être mauvais pour la santé.

ii. **Câbles souterrains :**

Les câbles souterrains sont des câbles électriques qui sont installés sous terre et offrent une solution de transport d'électricité discrète et sécurisée. Ils sont construits pour résister aux contraintes mécaniques, à l'humidité, à la pression du sol et à d'autres conditions environnementales sous terre. En règle générale, ces câbles sont protégés par une gaine extérieure qui correspond à l'environnement dans lequel ils sont installés [II.7].



Figure II .2 : Les Câbles souterrains. [II.8]

❖ **Les avantages des câbles souterrains : [II.6]**

- Dans les agglomérations denses, ils représentent la seule solution envisageable.
- Ne perturbent pas les circuits de télécommunications.
- Respectueux de l'environnement et de l'apparence.

❖ **Les inconvénients des câbles souterrains : [II.6]**

- Les coûts de construction sont entre 5 et 20 fois plus élevés que les lignes aériennes.
- Le processus de détection des défauts est complexe et prend du temps.
- Les réparations sont difficiles et parfois coûteuses.
- Les terrains en mouvement peuvent les détériorer.

iii. Câbles sous-marins :

Les câbles sous-marins, également appelés câbles de transmission d'électricité sous-marins, sont des câbles spécialement conçus pour transporter de l'électricité sous l'eau, notamment dans les océans et les mers. Ils sont cruciaux pour le transport de l'énergie entre diverses régions, continents et îles, ce qui facilite l'interconnexion des réseaux électriques mondiaux.

Ces câbles sous-marins sont utilisés pour diverses raisons, y compris le transport de l'électricité produite par des sources d'énergie éloignées vers les zones de consommation, l'intégration d'énergies renouvelables provenant de parcs éoliens offshore ou de centrales solaires situées près des côtes, et la fourniture d'énergie aux îles éloignées qui ne peuvent pas être connectées au réseau continental par des méthodes conventionnelles. [II.9]



Figure II.3 : Les câbles sous-marins [II.10]

2.2 Impact environnemental du transport de l'énergie électrique :

- La production d'électricité, en particulier de sources fossiles telles que le charbon, le pétrole et le gaz naturel, peut être liée aux émissions de gaz à effet de serre. Bien que le transport d'électricité n'implique pas d'émissions directes, il peut encourager l'utilisation de sources d'électricité qui en produisent. [II.11]
- La construction de lignes électriques peut entraîner la fragmentation des écosystèmes, la perturbation de la faune et de la flore locales et la déforestation ou la destruction d'habitats naturels. Les lignes électriques peuvent également altérer les paysages visuels. [II.11]
- Des champs électromagnétiques peuvent être générés par les lignes électriques et les équipements liés, et leur impact sur la santé humaine et l'environnement est sujet à des études et des discussions. [II.11]

3. Energie thermique :

L'énergie thermique, une forme d'énergie essentielle dans notre société moderne, résulte de la conversion de la chaleur en une forme d'énergie utilisable. Cette chaleur peut provenir de diverses sources, notamment du soleil, de la combustion de combustibles fossiles ou de la fission nucléaire.

Le transport de l'énergie thermique est un élément crucial de notre infrastructure énergétique contemporaine. Il comprend les techniques et les technologies avancées utilisées pour transporter la chaleur produite par diverses sources vers les destinations finales. Elle est utilisée pour une variété d'applications industrielles, résidentielles et commerciales.

3.1 Méthodes de transport de l'énergie thermique :

Le transfert de chaleur est le processus par lequel l'énergie thermique est transférée d'un système à un autre en raison des variations de température. Le transfert de chaleur se divise en trois catégories : la conduction, la convection et le rayonnement [II.12] (voir Figure II.4).

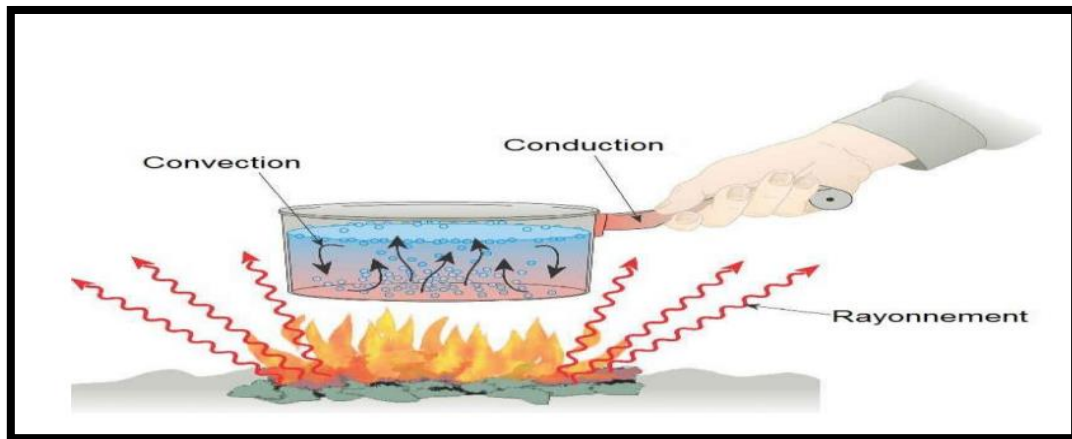


Figure II.4 : les trois modes de transfert de chaleur [II.13]

i. Par Convection :

Il s'agit d'un mode de transfert de chaleur qui permet l'échange de chaleur par le mouvement de fluides en déplaçant du côté chaud vers le côté froid [II.14]. Si la matière se déplace dans un milieu, cela implique que le milieu doit être fluide.

La convection est de deux types :

- **La convection naturelle**, où l'écoulement résulte d'une différence de masse volumique entre différentes parties du fluide, qui elle-même résulte d'une différence de température, les caractéristiques mécaniques et thermiques du fluide déterminent la nature de cette convection naturelle. [II.15]
- **La convection forcée** se produit lorsqu'une intervention extérieure au système impose le mouvement du fluide. Ces transferts thermiques, qui sont fréquemment utilisés dans les échangeurs thermiques, résultent du mouvement du fluide forcé qui ne dépend pas des différences de température. [II.15]

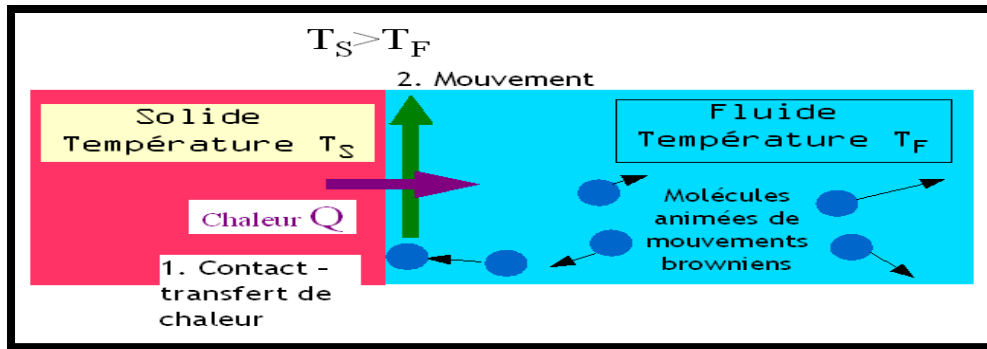


Figure II.5 : Présentation schématique de la convection naturelle [II.16]

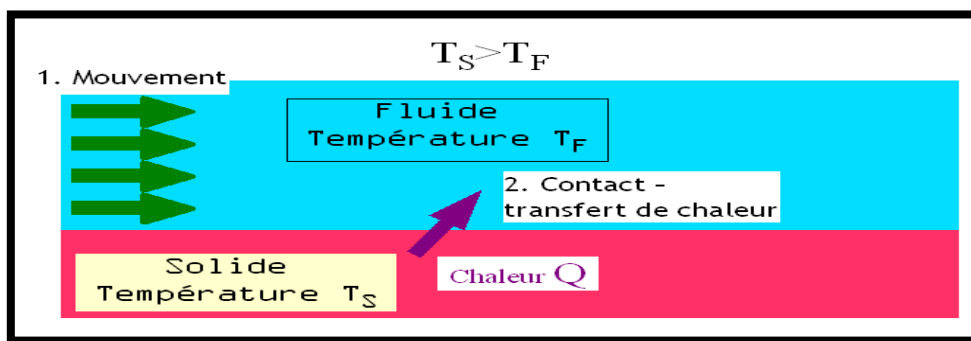


Figure II.6 : Présentation schématique de la convection forcée [II.16]

i. Par Conduction :

La conduction est la transmission de la chaleur dans la masse d'un milieu matériel, les zones chaudes transférant de la chaleur aux zones moins chaudes. Cela se produit lorsque l'extrémité d'une barre est chauffée [II.17]. (Figure II.7)

La chaleur se propage à l'intérieur d'un corps par deux mécanismes différents : une transmission par les vibrations des atomes ou des molécules et une transmission par les électrons libres. Ainsi, elle sera étroitement liée à la structure et à l'organisation du matériau. Elle peut se produire dans les solides et, dans une moindre mesure, dans les fluides, plus souvent que dans les gaz [II.18].

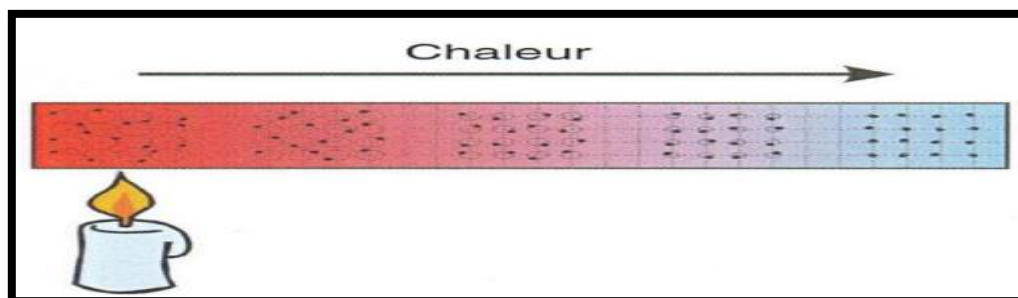


Figure II.7 : Conduction thermique dans une barre de métal

ii. Par rayonnement :

Le rayonnement thermique est une émission de rayonnement électromagnétique par un corps chaud. Le rayonnement se déplace dans le vide, comme le rayonnement solaire, et l'énergie électromagnétique reçue par le système est absorbée et transformée en chaleur. [II.13]

3.2 Technologies du transport de l'énergie thermique

a. Réseaux de chauffage urbain :

Les réseaux de chauffage urbain, également appelés réseaux de chauffage, distribuent de l'énergie thermique à travers des canalisations souterraines pour chauffer des bâtiments et des infrastructures publiques. Le chauffage urbain utilise la vapeur ou l'eau chaude produite par des sources d'énergie (gaz, énergie renouvelable, déchets, etc.) qui traversent des conduites souterraines en boucle fermée pour chauffer les bâtiments. Ensuite, l'eau est renvoyée à la source, réchauffée et envoyée aux bâtiments dans un cycle continu.

❖ **Avantage des réseaux de chauffage urbain pour le transport de l'énergie thermique :**

- Les réseaux de chauffage urbain luttent contre le changement climatique en réduisant de plus de la moitié les émissions de gaz à effet de serre par rapport aux combustibles fossiles.
- Les sources d'énergie renouvelables peuvent être utilisées par les réseaux de chauffage urbains, telles que l'énergie solaire, la biomasse ou la géothermie, ce qui réduit les émissions de CO₂ et améliore le profil de durabilité. [II.19]
- Les résidents ne doivent pas gérer leurs propres chaudières.
- Les usagers ne doivent pas déterminer où placer les appareils ni s'occuper de leur entretien. [II.20]

❖ **Inconvénients des réseaux de chauffage urbain pour le transport de l'énergie thermique :**

- La construction d'un réseau de chaleur nécessite un investissement initial considérable pour la Ville.
- Les réseaux de chauffage urbain demandent une maintenance et une surveillance régulière pour garantir une bonne qualité de service.

b. Pipelines et canalisations :

Les canalisations et les pipelines sont fréquemment utilisés pour le transport de l'énergie thermique, en particulier pour le transport de fluides chauds comme l'eau chaude, la vapeur ou d'autres liquides chauffés.

❖ **Avantages du transport par pipeline : [II.21]**

- Les conditions météorologiques ont peu d'impact sur son fonctionnement.
- Faible consommation d'énergie et coûts réduits par rapport à d'autres modes de transport.
- Sécurité, fiabilité et continuité dans le transport.
- Les pipelines enfouis n'occupent pas beaucoup le sol.

❖ Inconvénients du transport par pipeline : [II.21]

- Moins adaptable que les autres moyens de transport.
- Il nécessite un investissement initial considérable pour la construction et l'entretien.

Les pipelines et les canalisations sont un moyen économique, sûr et efficace de transporter des fluides chauds sur de longues distances, contribuant à la fiabilité et aux coûts opérationnels des systèmes énergétiques.

3.3 Impact environnemental de la méthode du transport thermique :

- Les émissions de gaz à effet de serre causées par la combustion de combustibles fossiles pour produire de l'énergie peuvent entraîner un changement climatique et une augmentation des températures dans le monde.
- Les polluants atmosphériques générés par la production d'énergie thermique peuvent causer des problèmes de santé humains tels que des problèmes respiratoires, cardiovasculaires et neurologiques.
- La déforestation et le changement de l'utilisation des terres peuvent être causés par la récolte de bois ou d'autres biomasses utilisées comme source de chaleur, ce qui peut avoir un impact sur les habitats naturels et la biodiversité.

4. Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est une source d'énergie abondante et largement disponible qui présente un potentiel considérable pour répondre à nos besoins énergétiques de manière propre et durable. Pour cela, l'utilisation de la fibre optique pour transporter le rayonnement solaire est une idée innovante qui suscite un intérêt croissant dans le domaine de l'énergie solaire.

4.1 Transport du rayonnement solaire :

- **Par les puits de lumière solaire :**

Les puits de lumière solaire, aussi connus sous le nom de conduits de lumière naturelle, sont des dispositifs qui permettent d'introduire la lumière naturelle du soleil dans les pièces intérieures d'un édifice.

Un schéma d'un système d'éclairage naturel par puits de lumière tubulaire est présenté dans la figure **II.8**. Les divers éléments du système sont visibles, tels que :

Le toit est équipé d'un **dôme** ou d'un **panneau solaire** captant la lumière du soleil. **Le tube** réfléchissant dirige la lumière captée vers la partie inférieure du bâtiment. **Le diffuseur** diffuse de manière homogène la lumière solaire dans la pièce, créant ainsi un éclairage ambiant naturel.

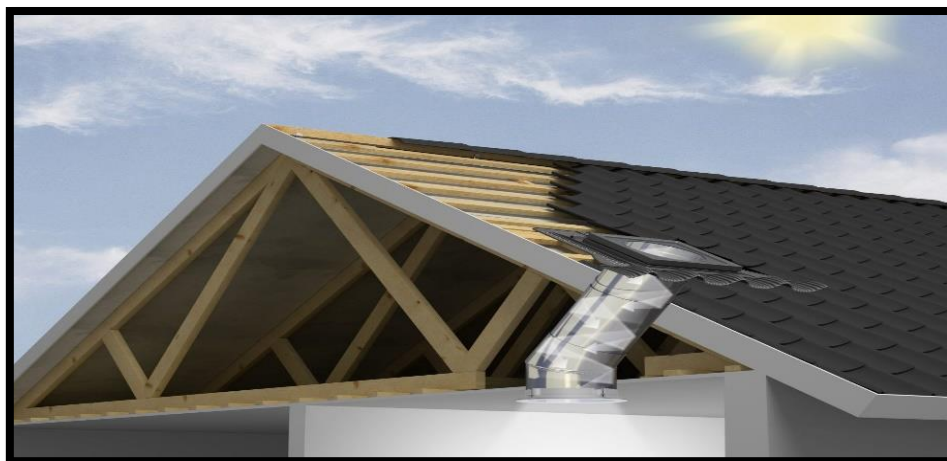


Figure II.8 : Éclairage naturel par puits de lumière solaire [II.22]

- **Par fibre optique**

Le transport du rayonnement solaire par fibre optique est une technique étudiée pour maximiser l'utilisation de l'énergie solaire concentrée. Cette méthode permet le transfert de chaleur et d'énergie entre un concentrateur solaire et un récepteur via une fibre optique, exploitant le transport radiatif dans la fibre pour acheminer l'énergie solaire de manière efficace. Elle peut transporter la lumière avec peu de perte d'énergie sur de longues distances. [II.23] [II.24]

Les miroirs paraboliques et les lentilles sont des exemples de systèmes de concentration solaire qui concentrent la lumière solaire sur une petite surface. Cela peut rendre la transmission à travers les fibres optiques plus facile, car il augmente l'intensité lumineuse. Cette méthode est intéressante dans des domaines tels que les fours solaires, car elle offre des solutions innovantes pour le transfert d'énergie solaire de manière efficace et contrôlée. [II.24]

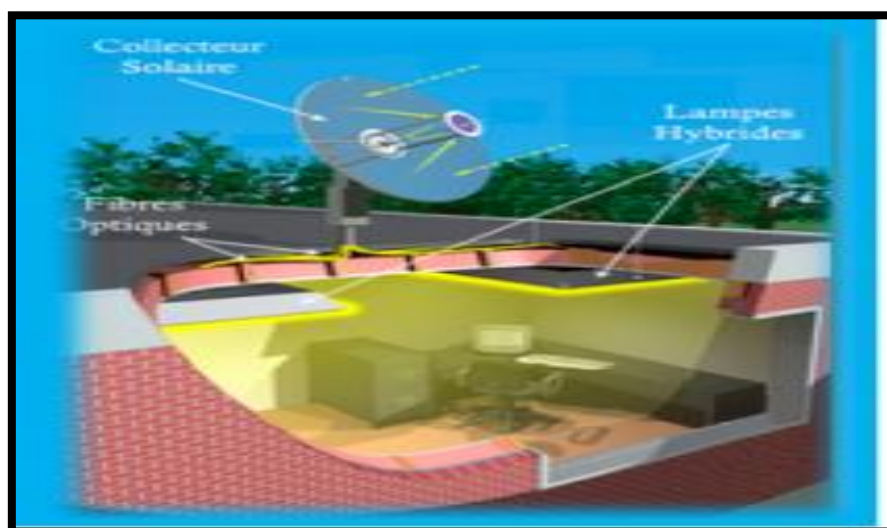


Figure II.9 : Système d'éclairage naturel à fibre optique [II.25]

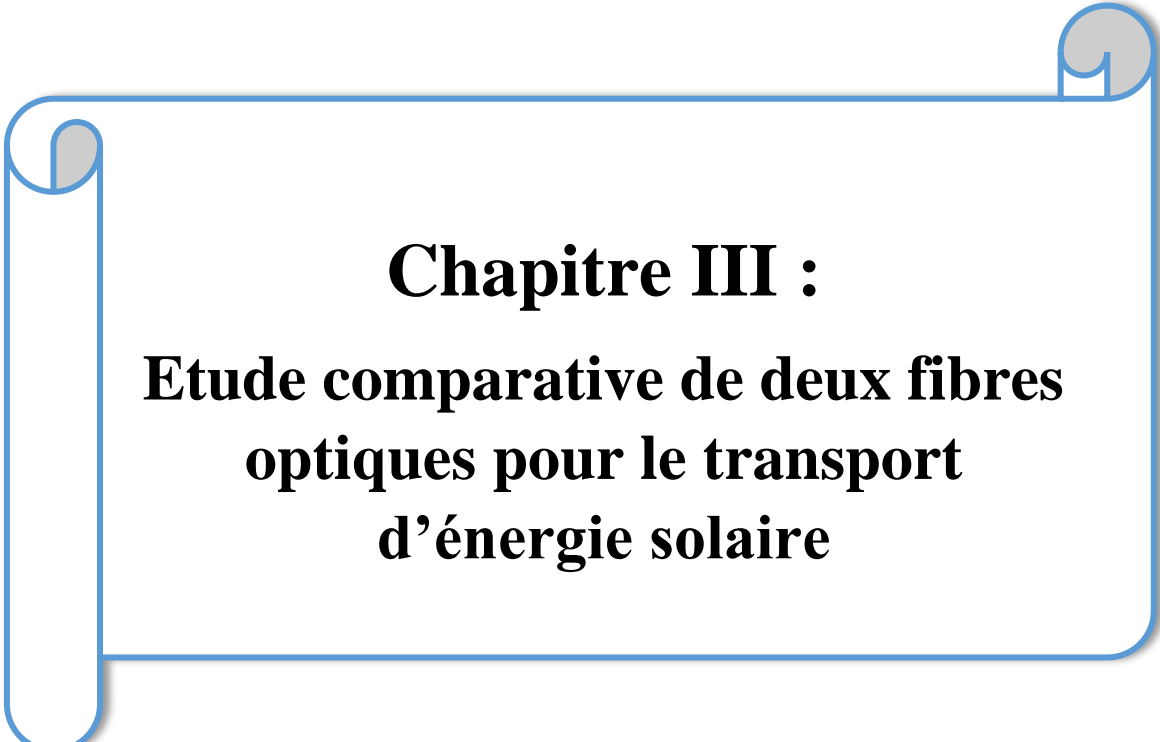
4.2 Impact environnemental des méthodes de transport du rayonnement solaire :

- L'utilisation de ressources naturelles et d'énergie, ainsi que la production de déchets et de polluants, peut être nécessaire pour fabriquer les composants des systèmes de transport du rayonnement solaire par fibre optique, tels que les fibres optiques elles-mêmes, les concentrateurs solaires et les dispositifs de réception.
- L'installation d'infrastructures pour le transport du rayonnement solaire, telles que les panneaux solaires et les dispositifs de concentration, peut entraîner un changement de l'utilisation des terres, notamment la conversion de terres agricoles ou naturelles en zones industrielles.
- La construction d'infrastructures solaires peut perturber les habitats naturels et affecter la biodiversité locale, en réduisant la disponibilité des ressources alimentaires, en augmentant la fragmentation des écosystèmes et en modifiant les schémas de migration des animaux.

5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principales méthodes de transport de l'énergie telles qu'énergie électrique, thermique et rayonnement solaire, leurs avantages et leurs défis. Après avoir présenté l'impact environnemental des méthodes de transport de l'énergie.

Dans le dernier chapitre, on s'intéressera à la méthode de transport de l'énergie solaire par la fibre optique. Ensuite, nous avons pris deux guides de lumière : « la fibre multimode » et « la liquide Light Guide » pour faire une comparaison entre elles pour choisir et déterminer les meilleures performances de ces dernières.



Chapitre III :
Etude comparative de deux fibres
optiques pour le transport
d'énergie solaire

1. Introduction :

L'énergie solaire est une source abondante et propre d'énergie renouvelable qui peut être utilisée pour répondre de manière durable aux besoins en énergie. Afin d'utiliser cette énergie, il est crucial de maîtriser les différentes techniques de transport de l'énergie solaire. Les fibres optiques se révèlent être une option prometteuse pour le transport de l'énergie solaire sur de grandes distances avec une plus grande efficacité.

Ce chapitre consiste à réaliser une comparaison entre deux catégories de fibres optiques employées pour le transport de l'énergie solaire : la fibre multimode (BF20LSMA) et la guide de lumière Liquides (LLG0538-6).

2. Transport de l'énergie solaire par les fibres optiques :

2.1 Historique des fibres :

Le principe de la fibre optique est bien connu dans les années 1950 et 1960. Les fibres de verre ont été utilisées pour la première fois pour faire des recherches sur la transmission de signaux lumineux. Cependant, son utilisation dans la transmission des données numériques à haut débit, le concept de débit est très récent. [III.1]

- **Quelques dates intéressantes dans l'historique de la fibre optique :**

Le physicien sino-britannique nommé Charles K. Kao a publié un article en 1966 décrivant comment la fabrication des fibres optiques à partir de verre pur pouvait réduire les pertes de transmission. Cette découverte a permis l'utilisation de la fibre optique pour la transmission des données numériques. [III.1]

Les fibres optiques ont été fabriquées pour la première fois aux États-Unis en 1970. La première liaison optique non expérimentale a été mise en place par les forces de l'ordre du Dorset en 1975.

Les premières fibres optiques ont été développées en 1976 avec une faible perte de 0,47 dB par kilomètre. En 1977, les laboratoires Bell ont calculé une durée de vie des diodes laser de 100 ans. En 1978, le fil initial à fibre optique transatlantique a été établi. [III.1]

Les premiers réseaux de fibre optique ont été déployés à grande échelle au début des années 1980. Le premier réseau transcontinental de fibre optique a été établi en 1988 entre les États-Unis et la France. La fibre optique a ensuite été largement utilisée dans tous les domaines de télécom, d'internet et des réseaux informatiques. [III.1]

2.2 La définition de fibre optique :

Une fibre optique est un fil très fin en verre ou en plastique qui est physiquement transparent. Ces fibres sont des guides d'ondes diélectriques circulaires capables de transporter de l'énergie et des informations optiques. Cela permet une transmission rapide de données entre deux endroits séparés de plusieurs centaines, voire milliers de kilomètres, sans que la vitesse soit affectée. Les signaux lumineux peuvent transmettre une grande quantité d'informations jusqu'à un Gigabit. [III.2] [III.3]

2.3 Structure de la fibre optique :

La compréhension de la structure et de la composition des fibres optiques est essentielle pour bien les comprendre.

Une fibre est généralement composée de trois composants : le cœur, la couche de protection et la gaine optique.

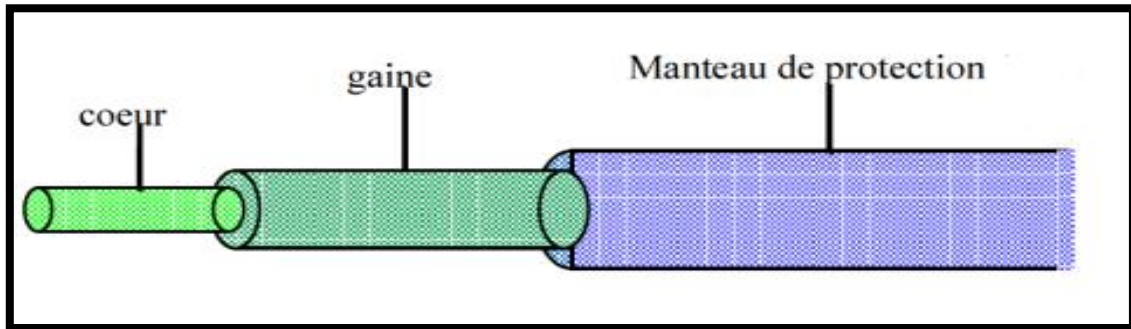


Figure III.1 : Structure d'une fibre optique [III.4].

- **Le cœur :**

En termes de transmission optique, c'est la couche la plus cruciale qui permet de guider les informations d'un bout à l'autre de la fibre sans trop de pertes. L'indice de réfraction est le plus élevé dans ce milieu. [III.5]

- **La gaine :**

Elle est faite de la même matière que le cœur. Il a un indice de réfraction plus faible que celui du cœur. Il est possible de réfléchir la lumière entièrement à plusieurs reprises à l'interface cœur-gaine, ce qui entraîne un phénomène de réflexion totale interne. [III.5]

- **Le revêtement de protection :**

Il protège mécaniquement la fibre optique et est généralement fabriqué en plastique. Il améliore également la flexibilité de la fibre et la rend plus facile à manipuler. La transmission de la lumière n'est pas perturbée par cette couche externe. Il est possible de renforcer la gaine pour obtenir un indice de réfraction moindre que le cœur. [III.6]

2.4 Principe de propagation :

Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, la fibre optique subit de multiples réflexions totales internes, car elle est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière. Le rayon se déplace en zigzag jusqu'à l'extrémité opposée de la fibre optique sans être perdu. [III.7]

Pour que l'interface cœur gainée réfléchisse complètement les rayons injectés dans la fibre, l'angle d'incidence doit être supérieur à l'angle critique. Cette condition nécessite l'existence d'un cône d'acceptance à l'entrée de la fibre, à l'intérieur duquel En réflexion totale, tout rayon injecté se propage. [III.7]

La loi de Snell Descartes, qui utilise les indices des milieux, permet de relier l'angle de la lumière incidente à l'angle réfracté :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (\text{III.1})$$

Pour $n_1 > n_2$, il existe un angle d'incidence, appelé angle critique, pour lequel la lumière n'est pas transmise et au-delà duquel elle est totalement réfléchie, c'est bien entendu la réflexion totale. [III.8]

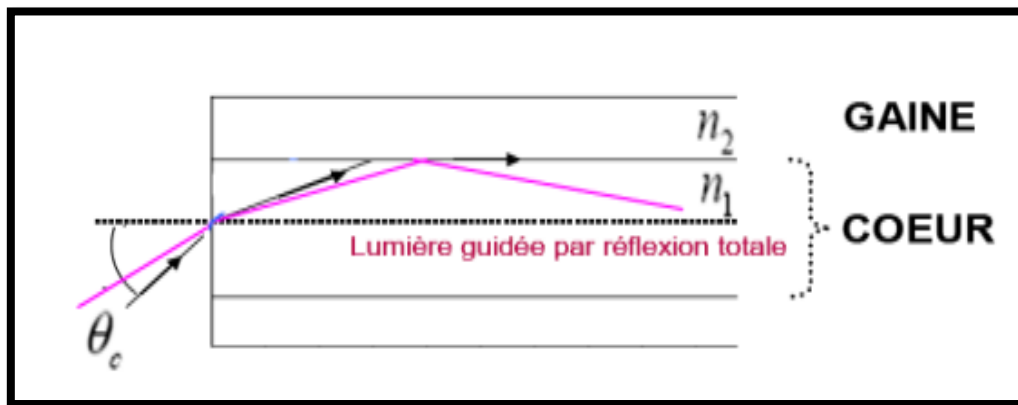


Figure III.2 : Principe de propagation dans une fibre optique. [III.7]

2.5 Types de fibres optiques :

Les fibres optiques sont divisées en deux catégories, selon le diamètre de leur cœur et la longueur d'onde utilisée : les monomodes et les multimodes.

2.5.1 Fibre optique multimode :

Les premières fibres sur le marché étaient les fibres multimodes. Ils ont la capacité de transporter plusieurs modes. En raison de la dispersion modale, le signal s'étend au fil du temps de manière proportionnelle à la longueur de la fibre. Par conséquent, elles ne sont utilisées que pour des débits bas ou des distances courtes. [III.9]

Les fibres multimodes peuvent être classées en deux catégories : à saut d'indice ou à gradient d'indice, en fonction de leurs géométries internes.

i. Fibres optiques multimodes à saut d'indice :

La fibre multimode à saut d'indice a été la première fibre optique produite. Les indices de réfraction du cœur et de la gaine sont différents et constants. Un saut d'indice marque le passage d'un milieu à l'autre. Le faisceau lumineux injecté à l'entrée de la fibre va suivre différentes routes jusqu'à la sortie, ce qui se traduit par des temps de propagation différents et, par conséquent, une étendue plus grande du signal transmis. [III.10]

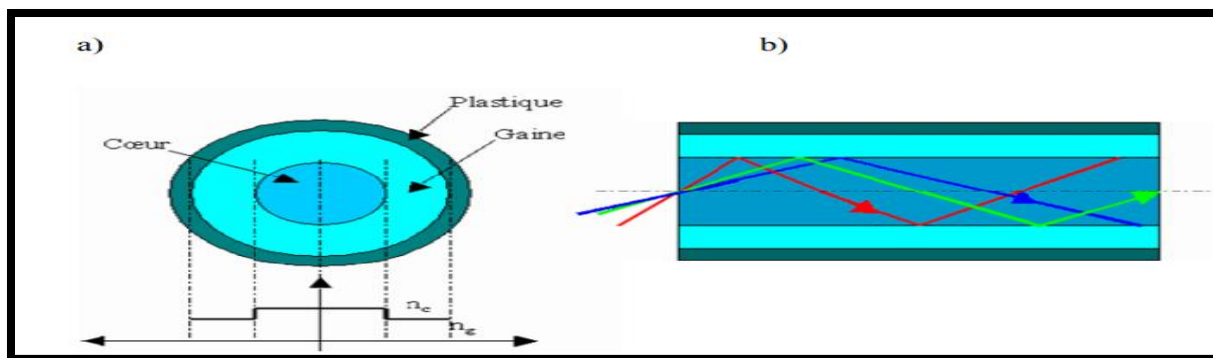


Figure III.3 : a) Section et profil d'indice d'une fibre multimode à saut d'indice [III.11]
 b) Chemins optiques empruntés par les rayons lumineux [III.11]

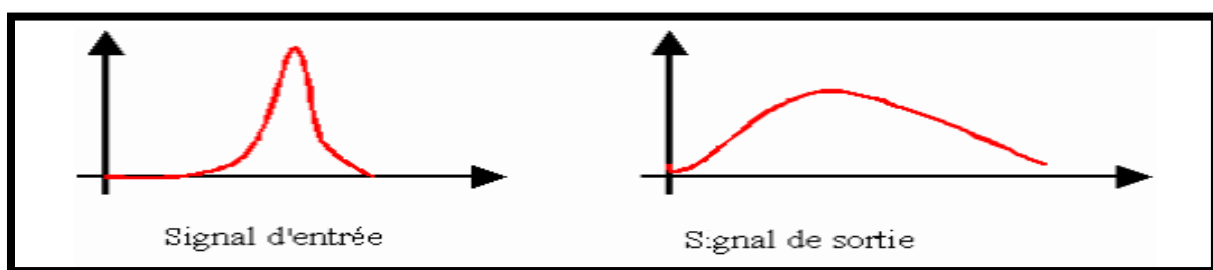


Figure III.4 : Étalement du signal optique dans une fibre multimode à saut d'indice [III.11]

❖ **Avantage :**

Faible coût.

Facile à mettre en œuvre.

❖ **Les inconvénients incluent :**

La perte et la distorsion significatives du signal

ii. **Fibre multimode à gradient d'indice :**

Dans cette fibre, l'indice de réfraction du cœur diminue depuis l'axe de propagation jusqu'à l'interface cœur-gaine suivant une loi parabolique, car le cœur est constitué de multiples couches de verre ayant chacune un indice de réfraction légèrement différent de celui du précédent. [III.12]

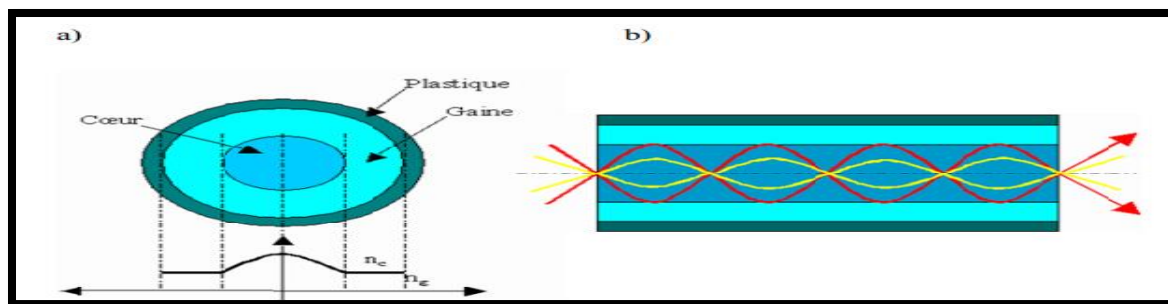


Figure III.5 : a) Section et profil d'indice d'une fibre multimode à gradient d'indice [III.11]

b) Chemins optiques empruntés par les rayons lumineux [III.11]

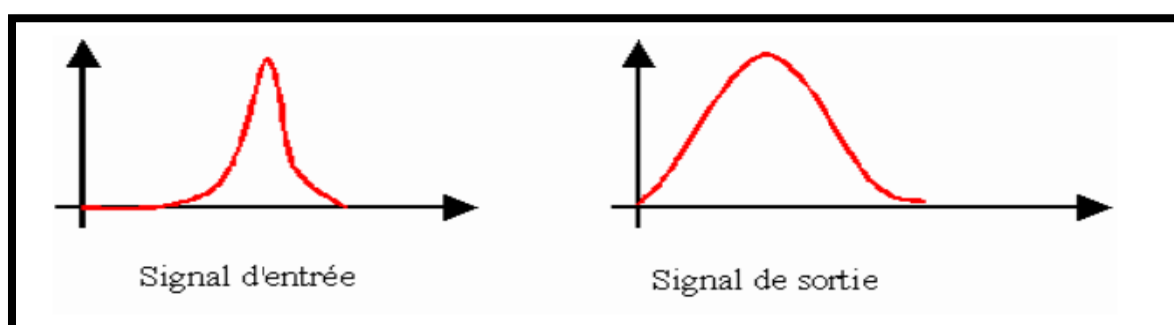


Figure III.6 : Étalement du signal optique dans une fibre multimode à gradient d'indice [III.11]

❖ **Avantage :**

Bande passante économique.

Excellente transmission.

❖ **Les inconvénients incluent :**

Difficile à appliquer.

2.5.2 Fibre optique monomode :

Les fibres monomodes, qui sont plus fines et technologiquement plus avancées, sont préférées pour de plus longues distances et de plus hauts débits. Leur cœur extrêmement fin n'accepte que le mode de propagation le plus direct, c'est-à-dire dans l'axe de la fibre. Ainsi, même à des débits très élevés et à de longues distances, les pertes sont minimales (moins de réflexion sur l'interface cœur/gaine). [III.9]

En conséquence, le chemin de propagation est parallèle à l'axe de la fibre (Figure III.7). Le signal qui est injecté dans l'entrée devrait théoriquement arriver à la sortie sans aucune modification. (Figure III.8) [III.11]

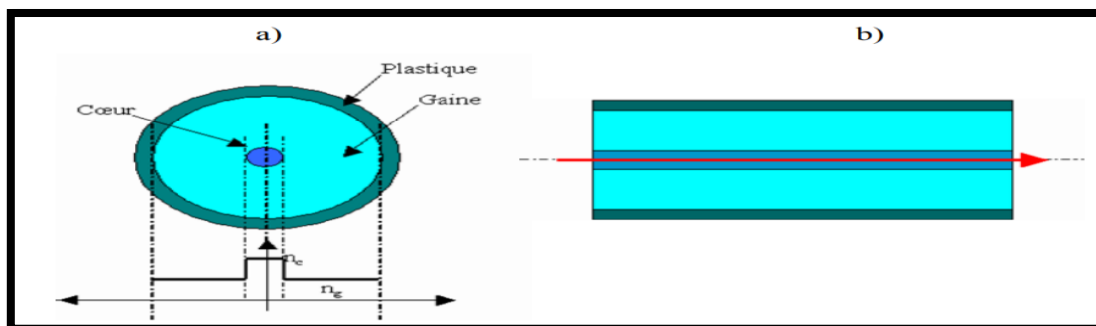


Figure III.7 : a) Section et profil d'indice d'une fibre monomode. [III.11]

b) Chemin optique emprunté par les rayons lumineux est unique. [III.11]

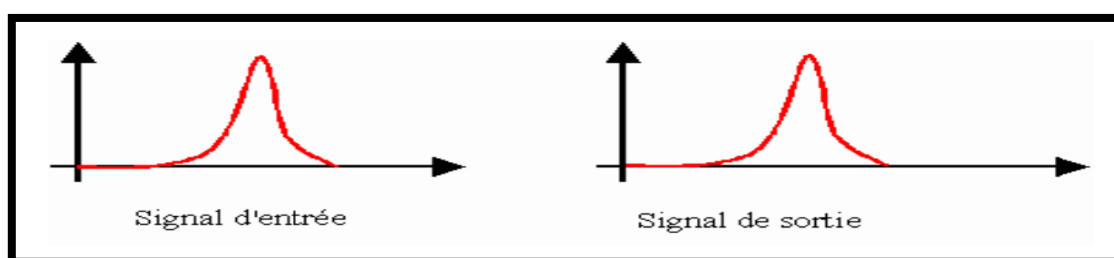


Figure III.8 : Étalement du signal optique dans une fibre monomode [III.11]

2.6 Comparaison entre les trois types de fibre optique :

Le tableau III.1 présente une résumée d'une comparaison entre les trois types de fibre optique [III.13]

Structure	Avantage	Inconvénients	Applications pratiques
Multimode à saut d'indice	Grande ouverture numérique Connexion facile, faible prix, facilité de mise en œuvre.	Pertes, dispersion et distorsion élevées du signal	Communication courtes distances, réseaux locaux
Multimode à gradient	Bande passante raisonnable et bonne qualité de transmission	Difficile à mettre en œuvre.	Communication aux courtes et moyennes distances
Monomode	Bande passante très grande, atténuation très faible, faible dispersion	Prix très élevé.	Communication longues distances

Tableau III.1 : Comparaison entre les différents types de fibres optiques. [III.13]

2.7 Guide de lumière liquide LLG :

2.7.1 Définition :

Les guides de lumière liquide sont des fibres optiques avec un noyau liquide qui ont l'avantage de transmettre plus de lumière. Plus précisément, ils sont constitués d'un tube creux en verre ou en polymère rempli d'un liquide ayant un indice de réfraction plus élevé que le verre et qui transite par réflexion interne totale. [III.14]

Il a la section transversale d'un tuyau ouvert, utilisant tout l'espace disponible pour transmettre la lumière avec une réflectance totale. Cependant, les faisceaux de fibres de silice sont similaires à de nombreux petits tubes dans un tuyau plus grand, avec des espaces inutilisés entre les brins individuels. Ces points morts ne diffusent aucune information. C'est pourquoi nos guides de lumière liquides peuvent fournir une lumière avec une intensité beaucoup plus grande à l'objet cible. [III.15] (voir figure III.9)

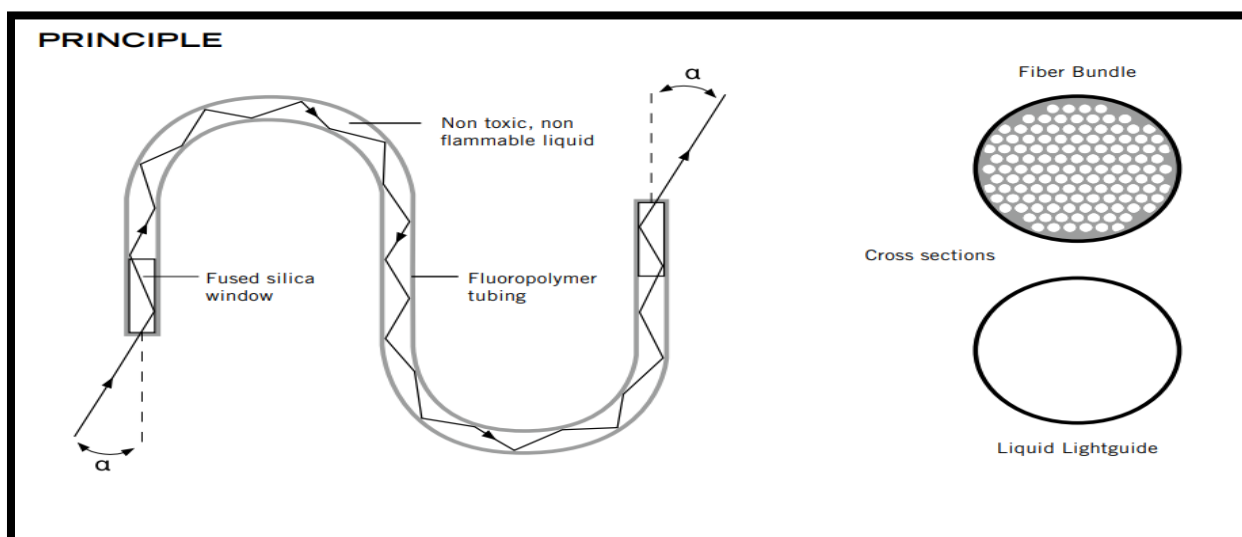


Figure III.9 : Principe du guide de lumière liquide [III.15]

2.7.2 Caractéristiques spectrales :

Les guides de lumière liquide peuvent être conçus pour fonctionner dans une large gamme de longueurs d'onde, allant des ultraviolets (UV) jusqu'aux infrarouges (IR), en fonction des propriétés optiques du liquide utilisé et de la conception du guide de lumière.

Les performances optiques des guides de lumière liquide (LLG) des séries 250, 300, 380 et 2000 sont illustrées par les graphes des caractéristiques spectrales suivantes :

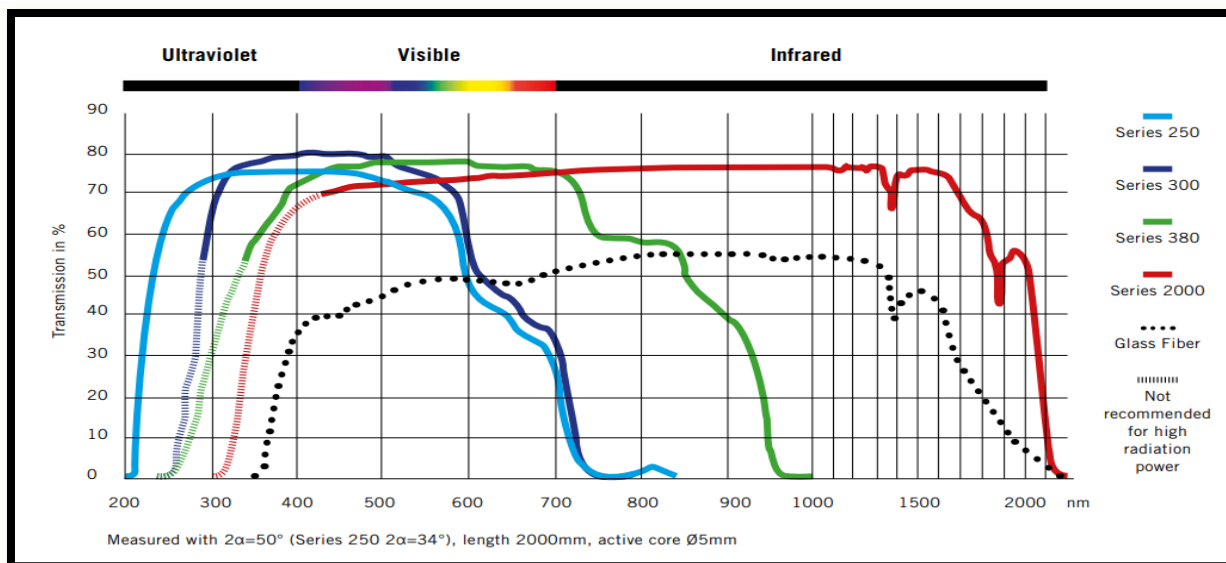


Figure III.10 : Caractéristiques spectrales [III.15]

- La série 250 présente une forte réponse sur le spectre UV avec une sensibilité remarquable entre 220 et 650 nanomètres, ce qui la rend adaptée aux applications de détection dans des environnements à longues longueurs d'onde.
- La série 300 se caractérise par une sensibilité accrue dans le domaine visible, notamment entre 280 et 650 nanomètres, ce qui lui confère une grande variété d'applications.
- Les caractéristiques spectrales de la série 380 montrent une sensibilité maximale de 340 à 800 nanomètres et une réponse optimale dans le spectre visible et proche infrarouge. Pour les applications nécessitant une détection dans des longueurs d'onde plus élevées, cette série pourrait être préférée.
- La série 2000 offre des performances étendues dans le proche infrarouge et l'infrarouge, avec une sensibilité importante entre 420 et 2000 nanomètres, ce qui la rend idéale pour les applications nécessitant une détection dans ces longueurs d'onde plus longues.

2.7.3 Les caractéristiques et les Spécifique propriétés optiques des Guides de lumière liquide :

Le tableau III.1 résume les caractéristiques et les propriétés spécifiques des guides de Lumière liquide (LLG) des séries 250, 300, 380 et 2000 :

Séries	Diamètres de cœur	ON 2α	Spécifique Propriétés
250	3, 5, 8 Mm	50°	Stabilité photo exceptionnelle, même dans la gamme UVC Convient aux lasers UV de forte puissance. Plage de température (à long terme) : +5 °C à +30 °C
300	2, 3, 5, 6.5, 8, 10 mm	72°	Transmission supérieure jusqu'à 5 W de rayonnement UV. Convient aux environnements très difficiles. Plage de température (à long terme) : -5 °C à + 35 °C
380	2, 3, 5, 6, 5, 8, 10 mm	72°	Excellente transmission du proche UV au rouge lointain, même à une longueur de 30 m. Rouge lointain, même à une longueur de 30 m. Convient aux environnements très robustes. Plage de température (à long terme) : -5 °C à +35 °C
2000	3, 5, 8 Mm	62°	Transmission d'un rayonnement infrarouge proche de forte puissance dans la gamme des multi watts. Filtre passe-bas intégré pour les rayonnements inférieurs à 420 nm. Plage de température (à long terme) : +5 à +35 °C

Le tableau III.2 : les caractéristiques et les Spécifique propriétés spécifiques des Guides de lumière liquide (LLG) [III.15]

2.8 Caractéristiques des fibres optiques :

Certains paramètres caractérisent la fibre optique, notamment :

2.8.1 Ouverture numérique :

L'ouverture numérique 'ON' est un paramètre très important, qui détermine l'angle auquel la lumière peut pénétrer dans la fibre. La lumière est plus facile à injecter dans la fibre lorsque l'ON est plus grand. L'équation régle l'ouverture numérique : [III.16] [III.17]

On peut le représenter par la formule suivante :

$$ON = \sin(\theta_i) = \sqrt{n_c^2 - n_g^2} < 1 \quad (III.2)$$

Avec i : angle d'incidence

n_c : indice de réfraction du cœur de la fibre

n_g : indice de réfraction de la gaine de la fibre

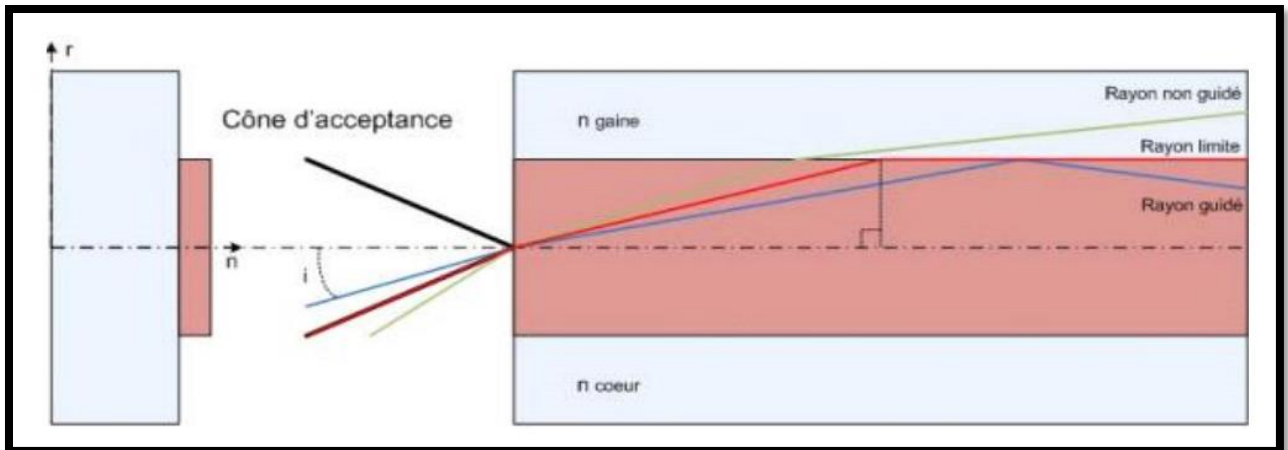


Figure III.11 : Cône d'acceptation et d'ouverture numérique d'une fibre optique [III.18]

- Quand les rayons verts arrivent à $\theta_i > \theta_i$ (en dehors du cône), ils ne seront pas guidés.
- Avec $\theta_i = \theta_i$, les rayons rouges seront dirigés vers le bout de la fibre, mais dans une direction qui est parallèle à l'axe de la fibre.
- Quand les rayons bleus apparaissent avec $\theta_i < \theta_i$ Lim, ils seront normalement guidés dans le cœur de la fibre en utilisant le principe de réflexion totale interne. [III.18].

2.8.2 Atténuation :

L'atténuation optique est la perte de puissance que subit la lumière au cours de sa propagation dans la fibre optique.

L'atténuation de la fibre optique est définie comme le rapport entre la puissance optique transmise dans la fibre et la puissance reçue exprimée en unité logarithmique par unité de longueur [III.19].

$$A[\text{dB}] = 10 \log \left(\frac{p_e}{p_s} \right) \quad (\text{III.3})$$

$A[\text{dB}]$: l'atténuation en décibel.

p_e : la puissance lumineuse à l'entrée.

p_s : la puissance lumineuse à la sortie.

L'atténuation du signal dans la fibre peut être causée principalement par :

i. Pertes intrinsèques :

La nature physicochimique de la fibre (la nature et la structure de la matière constituant la fibre) est ce qui les guide. Les pertes aux basses longueurs d'onde augmentent rapidement en raison de l'absorption intrinsèque du matériau constitutif. [III.20]

ii. Pertes par absorption moléculaire :

La capacité de la silice et de ses impuretés à absorber la lumière optique provoque des pertes dues à l'absorption des molécules. [III.20]

iii. Pertes de diffusion :

Ils sont également connus sous le nom de diffusion de Rayleigh et sont provoqués par des défauts structurels involontaires. [III.20]

iv. Pertes extrinsèques :

Ils dépendent du couplage des fibres ou du composite de fibres. Ces pertes sont causées par l'utilisation des fibres ou par une courbe trop serrée qui entraîne des pertes de rayonnement. [III.20]

Les micro-courbures sont des courbures très petites, fréquentes et essentiellement incontrôlées causées par le conditionnement des fibres du câble. Les sections liées de longueur finie sont toujours utilisées avec des fibres. Chaque intersection peut entraîner une perte de connexion. [III.20]

2.8.3 Dispersion :

Une distorsion du signal se produit lorsque le signal optique est dispersé, ce qui entraîne un élargissement des impulsions pendant que les impulsions se propagent dans la fibre optique.

La dispersion se divise en deux catégories :

i. Dispersion modale :

La lumière dans une fibre multimode peut se propager dans différentes directions et correspondre à différents modes. Cela dépend de l'angle d'incidence de l'interface air-verre. Le mode le plus court suit parfaitement l'axe optique de la fibre, tandis que le mode le plus long a l'angle d'incidence le plus grand autorisé de l'interface cœur-gaine. [III.20]

La somme des impulsions composantes qui se propagent en différents moments est connue sous le nom d'impulsion en réception. [III.21]

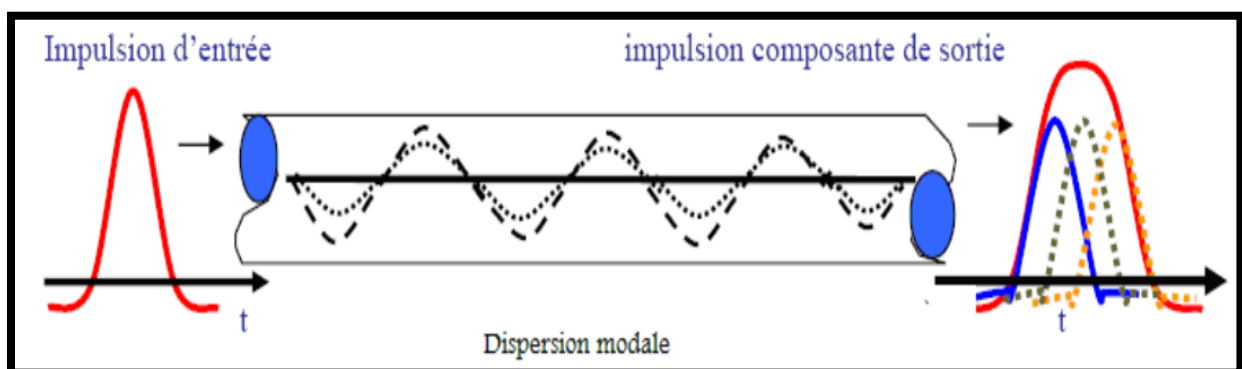


Figure III.12 : La dispersion modale [III.20]

ii. Dispersion chromatique :

La dispersion chromatique est le signal qui se propage à une vitesse variable en raison de sa largeur spectrale.

La dispersion chromatique est le mélange de deux types de dispersion différents : la dispersion du matériau et la dispersion du guide d'onde

- **La dispersion propre au matériau** dépend de l'indice de réfraction de la longueur d'onde. (L'indice qui varie en fonction de la longueur d'onde). Toutes les fibres optiques, qu'elles soient monomodes ou multimodes, présentent cette dispersion. [III.20]
- **La dispersion guide d'onde** : la longueur d'onde détermine la répartition de la lumière du mode fondamental sur le cœur et la gaine. Cette dispersion est cruciale pour les fibres monomodes. [III.22]

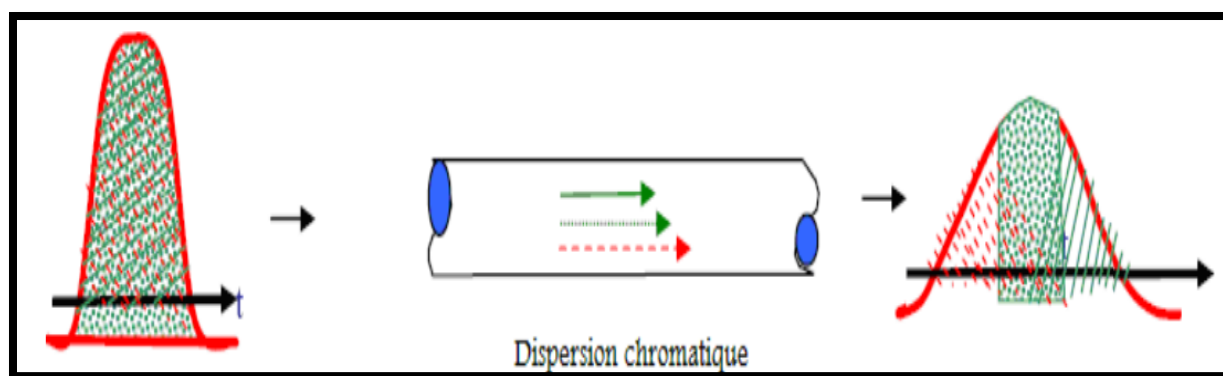


Figure III.13 : La dispersion chromatique [III.20]

2.8.4 Bande passante :

La bande passante d'une fibre optique est l'un des paramètres les plus importants pour déterminer ses propriétés de transmission. La définition de la bande passante est basée sur l'interaction des deux phénomènes de dispersion modale et chromatique. [III.23]

- **La bande modale** est la seule à déterminer la bande totale dans les fibres multimodes.
- **La bande chromatique** est la seule à déterminer la bande totale dans une fibre monomode.

2.9 Avantages et inconvénients des fibres optiques :

❖ Avantages : [III.24]

Ils sont nombreux et peuvent être classés de la manière suivante :

- **Performances de transmission :**

La bande passante est grande

L'atténuation est extrêmement faible.

- **Avantage de mise en œuvre :**

Un faible poids

Une très petite taille et une grande souplesse.

- **Sécurité électrique :**

Isolation complète des terminaux

Il est possible de l'utiliser dans une ambiance explosive ou sous une tension élevée.

- **Avantage économique :**

Moins coûteux que les autres supports

❖ **Inconvénients : [III.24]**

Il y a des inconvénients à la fibre. Les mentions les plus courantes sont :

- Exigences micromécaniques importantes (connexions, alignement)
- L'installation d'un réseau en fibre optique peut être coûteuse. Les coûts associés à la fabrication, à l'installation et à la maintenance des câbles en fibre optique sont généralement plus élevés que ceux des câbles en cuivre.

3. Étude comparative entre la fibre multimode (BF20LSMA) et la Guide De Lumière Liquides (LLG0538-6) :

Cette étude comparative vise à analyser les performances de deux guides de la lumière, en l'occurrence la fibre multimode (BF20LSMA) et la guide de lumière liquide (LLG0538-6).

3.1 Présentation de l'entreprise « THORLABS » :

Thorlabs est une entreprise privée spécialisée dans l'équipement optique avec le siège social à Newton, New Jersey. [III.25]

Thorlabs développe et produit des produits dans les domaines de la technologie d'analyse, des fibres optiques, des lasers, de la photonique, de l'instrumentation optique, de l'optomécanique et de l'isolation des vibrations. [III.26] [III.25] Environ 90 % de ses produits sont fabriqués dans le pays. Nous pouvons être un concurrent agile sur les prix et sur l'innovation du produit en contrôlant le processus de conception. [III.27]

3.2 La fibre multimode (BF20LSMA) :

La BF20LSMA, une fibre optique multimode, est spécialement conçue pour transmettre des signaux lumineux sur de courtes distances avec une large bande passante. Cette fibre optique permet le passage simultané de plusieurs modes de lumière à travers le cœur de la fibre. Cela lui donne la capacité de déplacer des signaux sur de courtes distances à des vitesses assez élevées, ce qui en fait une option fréquente pour différentes applications.

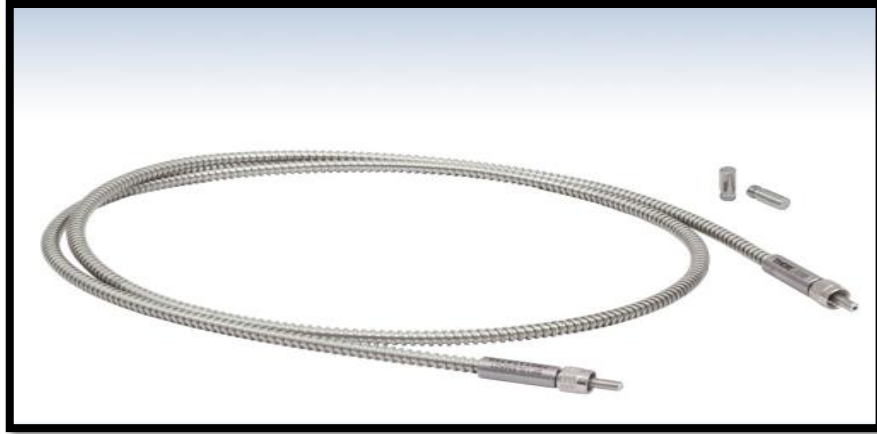


Figure III.14 : Fibre optique multimode (BF20LSMA) du fabricant thorlabs [III.28]

3.3 Guide de lumière liquide (LLG0538-6) :

La guide de lumière liquide LLG0538-6 est un type de fibre optique spécialement conçu pour guider et transmettre la lumière sur de grandes distances tout en maintenant une distribution spatiale cohérente de la lumière.



Figure III.15 : Guide de lumière liquide (LLG0538-6) du fabricant Thorlabs [III.29]

3.4 Caractéristiques physiques de la fibre multimode (BF20LSMA) et de la Guide De Lumière Liquides (LLG0538-6) :

Le tableau III.1 résume les caractéristiques de la fibre multimode et Les caractéristiques de Guide De Lumière Liquides que nous avons examinées :

Type de guide du lumière	BF20LSMA	LLG0538-6
L'aperture	∅2.0 mm	∅5.0 mm
Intervalle d'onde de fonctionnement	400-2200 nm	340-800 μm
Diamètre de cœur	550 ± 19 μm	10 mm
Diamètre de gaine (cladding)	600 ± 10 μm	9.5 mm
Ouverture numérique	0.22	0.59
Faisceau de fibres	7	1
Rayon de courbure à court terme	48 mm	60mm
Température maximale	+10 °C à +80 °C	-5 °C à + 35 °C
Pertes	1% à 10%	19% à 45%
Cout	699.41\$	636.72\$
Le coût total pour couvrir la même surface	34251 \$	636.72\$

Tableau III.3 : Caractéristique de la fibre BF20LSMA et de Guide De Lumière Liquides (LLG0538-6) (Thorlabs)

3.5 Comparer entre la fibre multimode (BF20LSMA) et la fibre guide de lumière liquide (LLG0538-6) :

Les caractéristiques des guides de la lumière BF20LSMA et LLG0538-6 diffèrent considérablement dans plusieurs domaines, ce qui a un impact sur leur utilisation potentielle dans différentes applications.

i. Intervalle d'onde de fonctionnement :

Le BF20LSMA et le LLG0538-6 sont principalement comparés en raison de leur différente plage d'ondes de fonctionnement. Nous présentons une étude de cette comparaison et une explication de l'importance de chaque type de guide dans le spectre visible :

- **Plage d'ondes de fonctionnement :**

- BF20LSMA : plage étendue de 400 à 2200 nm.
- LLG0538-6 : plage plus restreinte de 340 à 800 nm.

- **Analyse comparative :**

La plage d'ondes du BF20LSMA est bien plus étendue que celle du LLG0538-6. La grande portée peut être bénéfique dans les situations où la transmission de lumière doit être effectuée sur un large éventail de longueurs d'onde.

D'un autre côté, le LLG0538-6 convient davantage aux applications qui requièrent des longueurs d'onde spécifiques dans une plage plus limitée. Malgré sa portée restreinte, il peut être plus efficace dans ces situations spécifiques et garantir une transmission de lumière plus précise.

Importance dans le spectre visible :

En ce qui concerne le spectre visible, qui se trouve habituellement entre environ 400 nm (violet) et 700 nm (rouge), les deux guides de la lumière sont pertinentes. Donc les deux guides présentent des **résultats similaires** dans le spectre visible, ce qui signifie qu'elles transmettent la lumière de manière comparable dans cette plage de longueurs d'onde.

ii. Ouverture numérique :

- BF20LSMA :

- Ouverture numérique : 0,22
- Le BF20LSMA a une capacité restreinte à capter la lumière incidente provenant de différents angles, ce qui suggère une valeur limitée. La sensibilité à la lumière incidente provenant d'angles importants peut être réduite.

- LLG0538-6 :

- Ouverture numérique : 0,59
- Le LLG0538-6 possède une ouverture numérique plus élevée, ce qui implique qu'il a une capacité bien plus étendue à atteindre la lumière incidente provenant de divers angles. Il présente une plus grande sensibilité à la lumière provenant d'angles variés et peut donc recueillir la lumière incidente de manière plus efficace.

- **Analyse comparative :**

Capacité à capter la lumière sous différents angles :

Le LLG0538-6 présente un avantage majeur en raison de son ouverture numérique élevée, ce qui lui permet de capter la lumière incidente sous différents angles. Grâce à cette sensibilité plus élevée, les performances peuvent être améliorées dans des applications qui exigent une collecte maximale de lumière.

Importance dans le spectre visible :

Pour assurer une collecte efficace de la lumière dans le spectre visible, il est crucial d'avoir un guide de la lumière avec une ouverture numérique élevée. De cette façon, dans le cadre des fibres BF20LSMA et LLG0538-6, le LLG0538-6, avec sa plus grande ouverture numérique, pourrait être considéré comme plus important dans le spectre visible pour des applications qui exigent une sensibilité accrue à la lumière incidente et une collecte efficace de la lumière sous divers angles.

iii. Températures :

- **BF20LSMA :**

- Température d'utilisation maximale : de +10 °C à +80 °C
- La fibre BF20LSMA possède une résistance thermique exceptionnelle, ce qui lui permet de fonctionner de manière efficace dans des environnements où des températures élevées peuvent se produire. Grâce à cette caractéristique, il est idéal pour des applications qui requièrent une grande stabilité thermique, même dans des conditions climatiques graves.

- **LLG0538-6 :**

- Gamme de températures d'utilisation : de -5 °C à +35 °C
- La fibre LLG0538-6 propose une gamme de températures d'utilisation plus restreinte, ce qui la rend parfaite pour des environnements où les fluctuations de température sont moins prononcées. Malgré son manque de résistance aux températures élevées par rapport à la BF20LSMA, elle est adaptée à des applications où les variations de température sont plus modérées.

- **Analyse comparative :**

Stabilité thermique :

La fibre BF20LSMA se démarque par son aptitude à être utilisée à des températures pouvant atteindre 80 °C, ce qui en fait une option idéale pour les environnements à forte température. D'un autre côté, la LLG0538-6 convient davantage aux environnements où les températures sont moins élevées, en raison de sa plage de températures d'utilisation plus restreinte.

Importance dans le spectre visible :

Dans le domaine du spectre visible, la stabilité thermique revêt une importance capitale afin d'assurer le bon fonctionnement des éléments optiques. Malgré la possibilité d'utiliser les deux guides de la lumière dans le spectre visible, la BF20LSMA pourrait être considérée comme plus essentiel dans les applications où des températures élevées sont un facteur essentiel, tandis que la LLG0538-6 serait préférée dans des environnements où les variations de température sont plus modérées.

v. Pertes :

Comparaison des performances entre la fibre multimode BF20LSMA et la guide de lumière liquide (LLG0538-6) dans le spectre visible, nous devons utiliser les courbes suivantes :

- **La fibre multimode BF20LSMA :**

- Transmission dans le spectre visible : 90 % à 99 %.
- Pertes dans ce spectre : 1 % à 10 %.

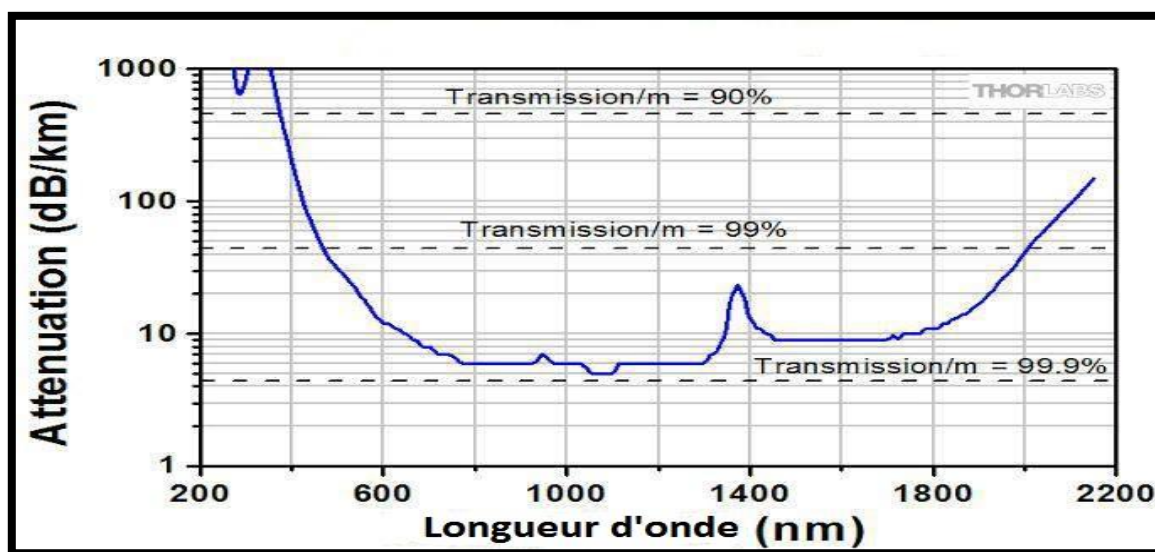


Figure III.16 : La transmission spectrale de la fibre multimode (BF20LSMA) [III.28]

- **La guide de lumière liquide (LLG0538-6) :**

- Transmission dans le spectre visible : 70 % à 80 %.
- Pertes dans ce spectre : 20 % à 30 %.

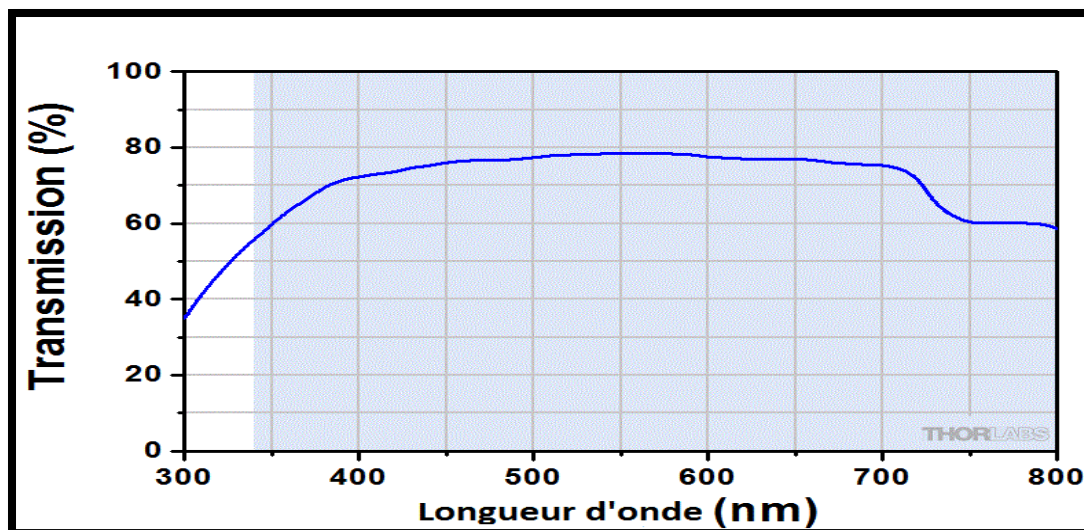


Figure III.17 : La transmission Spectrales La guide de lumière liquide (LLG0538-6) [III.29]

- **Analyse comparative :**

- **Transmission et les Pertes dans le spectre visible :**

La transmission de la fibre multimode dans le spectre visible, allant des valeurs de 90 % à 99 %, contrairement à la LLG0538-6, qui offre une plage de transmission plus restreinte, de 70 % à 80 %.

Les pertes dans le spectre visible sont plus faibles pour la fibre multimode, s'étendant de 1 % à 10 %, tandis que pour la LLG0538-6, elles sont plus élevées, s'élevant de 20 % à 30 %. Cela suggère que la fibre multimode présente une meilleure performance pour réduire les pertes de lumière dans le spectre visible par rapport à la LLG0538-6.

- **Comparaison de la transmission du rayonnement solaire dans le guide de lumière liquide (LLG0538-6) et La fibre BF20LSMA en fonction du temps, pour le premier jour de chaque saison :**

Explication du graphique

Le graphique montre la transmission du rayonnement solaire dans le guide de lumière liquide (LLG0538-6) et La fibre multimode BF20LSMA en fonction du temps, pour le premier jour de chaque saison. L'axe des x représente le temps en heures, et l'axe des y représente le rayonnement solaire en W/mm².

Les courbes "Entrée LLG" et "Entrée de la fibre " représentent le rayonnement solaire incident sur les fibres, respectivement la guide de lumière liquide (LLG0538-6).et que la fibre optique multimode BF20LSMA. Les courbes "sortie LLG" et "sortie de la fibre" représentent le rayonnement solaire transmis par les fibres, respectivement de lumière liquide (LLG0538-6) et que la fibre optique multimode BF20LSMA.

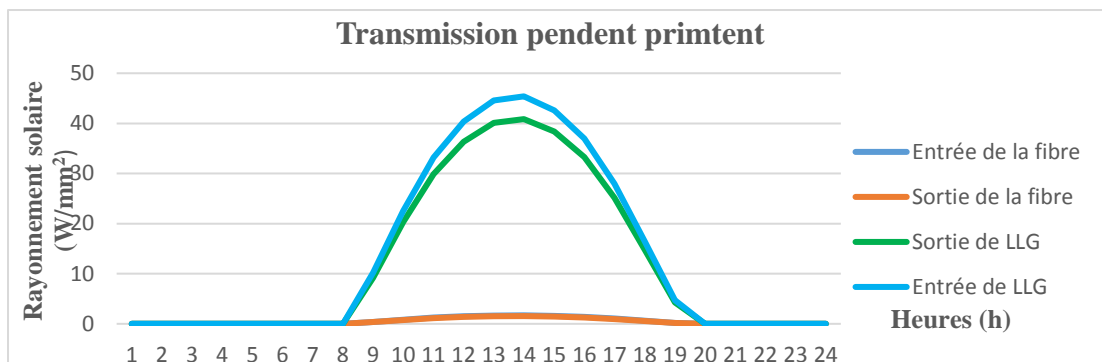


Figure III.18: Transmission des deux fibres optiques pendant printemps

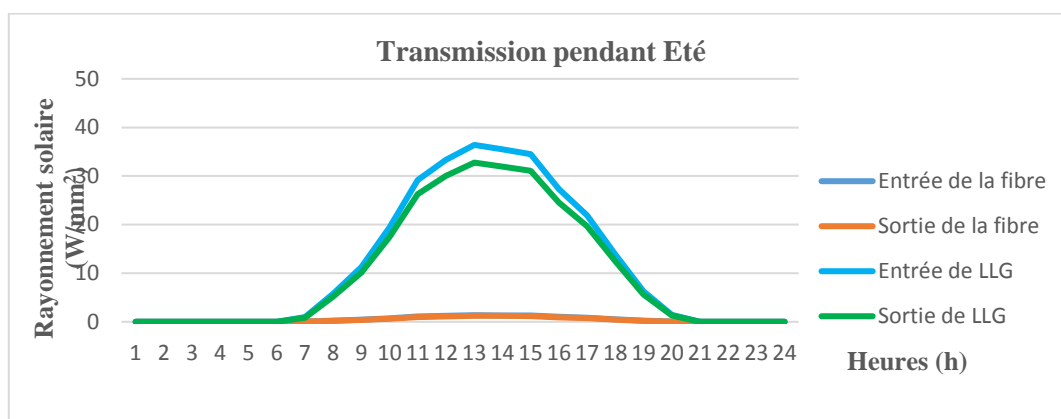


Figure III.19 : Transmission des deux fibres optiques pendant Eté

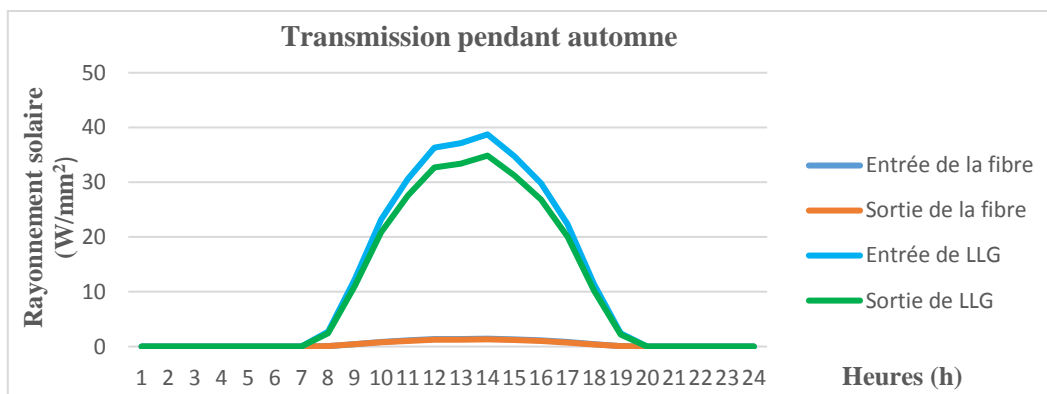


Figure III.20 : Transmission des deux fibres optiques pendant Automne

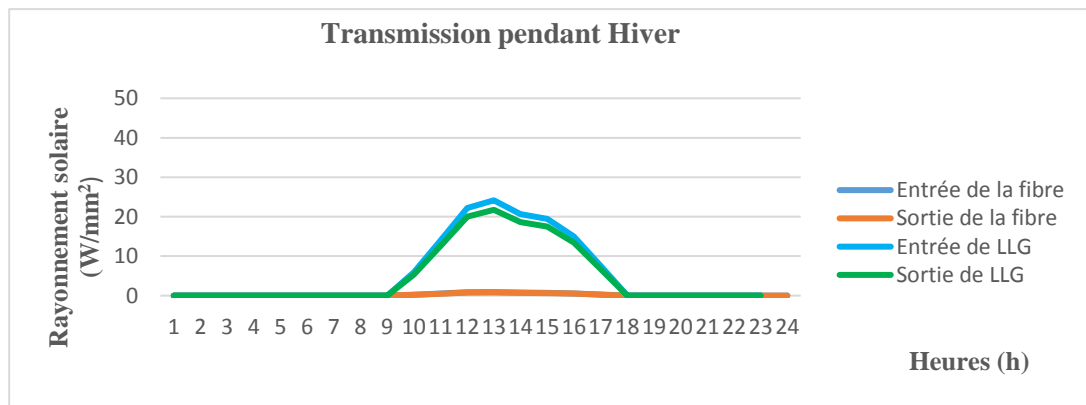


Figure III.21 : Transmission des deux fibres optiques pendant Hiver

Analyse comparative

En observant les graphiques, on peut constater que la guide de lumière liquide. Présente une capacité de transmission plus élevée que la fibre optique multimode BF20LSMA. La guide de lumière liquide est souvent considérée comme plus important que la fibre multimode en raison de sa plus grande superficie. En effet, la guide de lumière liquide, avec sa surface plus étendue, permet une meilleure capture et transmission de la lumière. La capacité de la guide de lumière liquide à couvrir une surface plus large lui confère un avantage significatif en termes de performance et de fiabilité par rapport à la fibre multimode. En effet, la sortie du guide de lumière liquide (LLG0538-6) est constamment supérieure à celle de la fibre multimode BF20LSMA, tout au long des 24 heures de la journée.

La transmission du rayonnement solaire varie en fonction de la saison pour les deux fibres. La transmission est généralement plus élevée en printemps et plus faible en hiver. Cela reflète une meilleure transmission du rayonnement solaire à cette période de l'année en raison des conditions atmosphériques plus favorables car au printemps, le soleil est plus haut dans le ciel, ce qui signifie que son rayonnement arrive sur les fibres optiques avec un angle plus direct. Cela réduit la quantité de réflexion du rayonnement et augmente la quantité transmise.

vi. Cout :

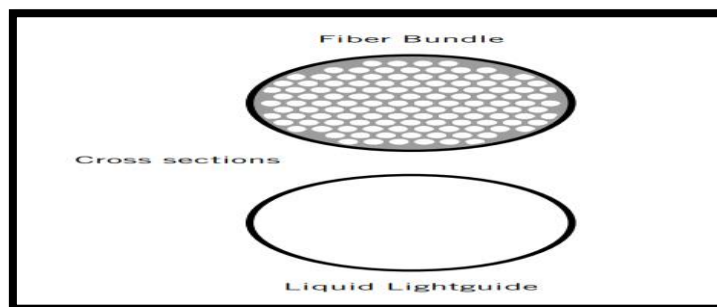


Figure III.22 : La surface effective des guides de lumière [III.15]

- **Surface effective :**
 - Pour la LLG0538-6 : 78.5 mm²
 - Pour la fibre multimode BF20LSMA : 0.237 mm²

Le rapport des surfaces effectives est donné par :

$$\text{Rapport des surfaces effectives} = \frac{\text{surface effective de la guide Liquide}}{\text{surface effective de la fibre multimode}} = \frac{78.5}{0.237} \approx 340$$

Cela implique que la surface effective du liquide est environ 340 fois supérieure à celle de la fibre multimode.

▪ Nombre des fibres nécessaires :

Ce nombre de faisceaux dans une seule fibre est de 7 faisceaux.

Nombre des fibres nécessaires (NFB) = $340 / 7 \approx 49$

Ce calcul permet d'évaluer le nombre de fibres multimodes requis pour équivaler la surface réelle de la guide liquide.

▪ Coût total des faisceaux de fibre multimode :

Coût total multimode = NFB × Coût d'un faisceau

Coût des fibres multimode nécessaires : $49 \times 699.41\$ = 34251 \$$

Cela implique qu'afin d'obtenir une surface similaire à celle de la guide liquide, il serait nécessaire d'acquérir 49 fibres multimode à leur prix individuel, ce qui entraînerait un coût total de 34251 \$.

▪ Coût de la fibre liquide guide de lumière :

Coût de la liquide guide de lumière : 636.72 \$

• Analyse comparative :

- Surface effective :

La surface efficace de la fibre liquide est bien supérieure à celle de la fibre multimode, ce qui implique qu'elle peut transporter une quantité de lumière plus importante. Cette fonctionnalité peut s'avérer bénéfique dans les applications qui requièrent une transmission de lumière puissante.

- Coût :

Le coût total pour couvrir la même surface effective que la guide liquide est bien plus élevée que pour la fibre multimode, même si elle est moins chère par unité. Cela peut rendre la fibre liquide plus économique dans les applications où une grande quantité de lumière est nécessaire sur une grande surface.

4. Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à une analyse approfondie du transport de l'énergie solaire à travers les fibres optiques, en mettant l'accent sur la comparaison de deux types de guide : la fibre multimode (BF20LSMA) et la guide la lumière liquide (LLG0538-6) a été exposée en examinant divers éléments tels que l'écart d'onde de fonctionnement, l'ouverture numérique, les températures de fonctionnement, les pertes et le coût.

Dans le domaine du spectre visible, la fibre BF20LSMA se démarque par sa large plage d'ondes, ce qui lui permet d'être utilisée dans différentes applications qui requièrent une transmission de lumière sur une variété de longueurs d'onde, offrant ainsi une plus grande flexibilité. En outre, la BF20LSMA présente des pertes de transmission et des pertes dans le spectre visible inférieures à celles de la LLG0538-6, ce qui améliore son efficacité dans la réduction des pertes de lumière.

Néanmoins, le LLG0538-6, avec sa plus grande ouverture numérique, est plus approprié pour capturer la lumière de manière efficace sous divers angles, ce qui est crucial dans les applications qui requièrent une collecte maximale de lumière. En outre, son coût total pour couvrir la même surface est nettement inférieur,

En conclusion, pour une utilisation dans le spectre visible, la guide de la lumière LLG0538-6 serait le meilleur choix en raison de sa correspondance précise avec la plage spectrale requise, de son ouverture numérique plus élevée et de son coût total plus bas.

A decorative graphic of a scroll with a blue outline and grey circular accents at the corners. The text "Conclusion générale" is centered within the scroll.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans ce mémoire, nous avons traité de nombreux sujets essentiels concernant l'énergie, en mettant l'accent sur l'énergie solaire et ses diverses dimensions. Tout d'abord, nous avons examiné les concepts essentiels de l'énergie et de son influence sur l'environnement, en soulignant l'effet de serre et les conséquences des diverses sources d'énergie disponibles. Nous avons ensuite exploré le domaine particulier du rayonnement solaire, en analysant ses principes fondamentaux et son potentiel en tant que source d'énergie renouvelable.

Au cours du chapitre suivant, nous avons examiné les différentes formes de transport de l'énergie, telles que l'énergie électrique, thermique et le rayonnement solaire. Nous avons étudié en détail les bénéfices et les difficultés de chaque méthode, tout en étudiant leur influence sur l'environnement. Grâce à cette exploration, nous avons pu approfondir notre compréhension des défis complexes liés au transport de l'énergie et des conséquences de nos décisions sur l'environnement.

Finalement, le dernier chapitre a porté sur une étude comparative approfondie de deux types de fibres optiques utilisées pour le transport de l'énergie solaire : la fibre multimode (BF20LSMA) et la guide de la lumière liquide (LLG0538-6). Nous avons étudié différents aspects techniques et les performances de ces fibres, soulignant ainsi leurs atouts et leurs limites dans des applications particulières. Grâce à cette comparaison, nous avons pu mieux guider les décisions à venir dans le domaine du transport de l'énergie solaire par fibres optiques, en prenant en considération les exigences particulières des différentes applications.

Cette étude met également en évidence l'importance grandissante des technologies de transport d'énergie solaire, soulignant ainsi leur rôle essentiel dans la transition vers des sources d'énergie plus durables et renouvelables. À l'avenir, il est essentiel de continuer à mener des recherches et des études dans ce domaine, dans le but d'améliorer encore plus les performances des fibres optiques et de les rendre encore plus efficaces et économiquement viables pour le transport d'énergie solaire à grande échelle.

Références bibliographiques

- [I.1] Traore Massitan, Gestion Du Système Photovoltaïque D'une Alimentation Privée Connecte Au Réseau, Mémoire De Master, Université Badji Mokhtar- Annaba, Juin 2017.
- [I.2] Qu'est-ce que l'énergie, from fr.quora.com/Qu'est-ce-que-l-%C3%A9nergie
- [I.3] kelwatt.fr/energie.php
- [I.4] «Energie fossile », <https://www.geo.fr>
- [I.5] “L'énergie nucléaire”, www.explorateurs-energie.com
- [I.6] Energie verte ou énergie renouvelable, comment s'y , from www.homefriend.com
- [I.7] <https://fr.slideshare.net/oussama3141/les-formes-exploitable-des-nergies-renouvelables>
- [I.8] «Le dictionnaire de l'environnement », www.dictionnaireenvironnement.com
- [I.9] « Perception des agriculteurs de la région de Bordj Bou Arreridj aux changements climatiques et leurs actions pour atténuer son effet sur leurs activités » ALLOU Fatma et BEN MKIDICHE Randa, Master en Biodiversité et Environnement. Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A (2022)
- [I.10] Effet-de-serre-web.pdf
- [I.11] Un nouveau gaz à effet de serre identifié : 7100 fois plus from www.consoglobe.com
- [I.12] Les gaz à effet de serre (GES), from alloprof.qc.ca
- [I.13] Effet de serre : définition et conséquences sur l'environnement, from climate.selectra.com
- [I.14] Réchauffement global et santé : aspects généraux et ..., from climatology.edpsciences.org
- [I.15] Décryptage du changement climatique. from www.apc-paris.com
- [I.16] « Etude, Conception et Réalisation d'un Suiveur de Soleil » KADRI Ibtissem Master Physique énergétique et énergies renouvelables. Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen (2018)
- [I.17] Fellah Boumediene, « Système hybride photovoltaïque-éolien, de production d'électricité. Application aux sites de Tlemcen et de Bouzaréah » Thèse de Magister, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, Décembre 2012.

- [I.18] Abdelmalek Bouden, « Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque ». Mémoire de magistère, Université de Constantine, Algérie 2008.
- [I.19] Bouden Abdelmalek, Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque, Université Mentouri Constantine, 2008
- [I.20] Bendjellouli Zakaria, contribution à la modélisation d'une cellule solaire, Université de Bechar, 2009.
- [I.21] CARREAU.C, DUFOUR .M, GIBILISCO.M, les énergies renouvelables dans l'habitat, France 2001.
- [I.22] Qu'est-ce que l'énergie solaire, www.edf.fr
- [I.23] « Etude d'une centrale solaire thermique » KHADRAOUI-ZAKARIA MASTER GENIE MECANIQUE. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA(2017)
- [I.24] « Etude, Conception et Réalisation d'un Suiveur de Soleil » KADRI Ibtissem Master Physique énergétique et énergies renouvelables. Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen (2018)
- [I.25] FPGA en utilisant la carte ML605 ‘’, Université Mohamed Boudiaf M'sila, 2018.
- [I.26] « Etude d'une centrale solaire thermique » KHADRAOUI-ZAKARIA MASTER GENIE MECANIQUE. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA(2017)
- [II.1] « Analyse du champ électromagnétique des lignes de transmission aérienne HVDC sur le corps humain » Bendali Fayçal et Karour Radouane, MASTER En Electrotechnique (2023) »
- [II.2] https://fr.wikipedia.org/wiki/Transport_d%27%C3%A9nergie_%C3%A9lectrique
- [II.3] Article « transport-lelectricite » www.planete-energies.com
- [II.4] Meziant Rachida et Sahli Siham « Calcul du champ électromagnétique généré par les réseaux électriques en vue de la compatibilité électromagnétique.» Mémoire fin d'étude Université Abderrahmane mira – BEJAIA 2017
- [II.5] « Contribution d'un FACTS à la stabilisation d'une station de transfert d'énergie. » ROTAL Abdelkader Anis, Master Réseaux Électriques (2022)
- [II.6] « Simulation électromagnétiques des câbles électriques souterrains » MERABET Haroune et BERIALA Bilal, MASTER en Electrotechnique (2019)

[II.7] « CAHIER TECHNIQUE Fils et câbles » portail.rexel.fr

[II.8] « Articles Câblage souterrain » ivanoveng.com

[II.9] « Analyse du champ électromagnétique des lignes de transmission aérienne HVDC sur le corps humain » Bendali Fayçal et Karour Radouane, MASTER En Electrotechnique (2023)

[II.10] « Les câbles sous-marins, un enjeu géostratégique » www.futuribles.com

[II.11] International Energy Agency (IEA), "Electricity Transmission and Distribution", 2020.

[II.12] Bernard Grandjean, cours TRANSFERT DE CHALEUR, Volume 1 2013 UK,

Lien <https://docplayer.fr/33680898-Transfert-de-chaaleur.html>

[II.13] Les 3 modes de transfert thermique

Lien : <https://jeretiens.net/les-3-transferts-thermiques>

[II.14] Bernard EYGLUNENT. Manuel de thermique : théorie et pratique. Hermes, 1997.

[II.15] « Étude des phénomènes de transport thermique dans les couches minces par thermoréfectance » BADINE Elie, Thèse de doctorat en Cotutelle, L'Université Littoral Côte d'Opale (2019)

[II.16] « Transfert thermique » www.thermique-du-batiment.wikibis.com

[II.17] : Dominique Marchio et Paul Reboux, «Introduction Aux Transferts Thermiques », École des mines de Paris, ISBN : 978291176293, 2008, 6,7.

[II.18] : [Jean-Luc Battaglia, Andrzej Kusiak, Jean-Rodolphe Puiggali, « Introduction aux transferts thermiques », Dunod, Paris, 2010]

[II.19] « POURQUOI CHOISIR LE RÉSEAU DE CHALEUR POUR VOTRE ENTREPRISE ? » reseaudechaleur.com

[II.20] « Les atouts et les limites du chauffage urbain ! » www.ma-chaumiere.fr

[II.21] « Avantages et inconvénients du transport par pipeline » www.xysteelpipe.com

[II.22] <https://www.acielouvert.com/fonctionne-puits-de-lumiere-velux>

[II.23] Article « Transport of solar energy with optical fibres » J. M. CAR10U, J. DUGAS and L. MARTIN, Laboratoire de Physique des Solides Associé au CNRS, Université Paul Sabatier,

118 Route de Narbonne, 31077 Toulouse C6dex, France (Received 26 June 1981 ; accepted 27 January 1982)

[II.24] « Transport de données sur fibre optique à haut rendement énergétique » www.techno-science.net

[II.25] « Conception et Réalisation d'un système d'éclairage naturel à fibre optique » www.polymage.fr

[III.1] Article « Histoire et future des fibres optiques et de leur capteurs » publié en 2018 dans le cadre de la fête de la science dont the conversation France est partenaire.

[III.2] C. FORTIER, 'Génération de sources optiques fibrées très hautes cadences et caractérisations de fibres optiques microstructures en verre de Chalcogénure', thèse de Doctorat de l'université de Bourgogne, Janvier 2011

[III.3] Thèse IGE 24. Liaison Par Fibre Optique à Haut Débit.

[III.4] H. Brahimi, « Etude en bruit de systèmes optiques hyperfréquences Modélisation, caractérisation et application à la métrologie en bruit de phase et à la génération de fréquence », thèse de doctorat-Université de Paul Sébastien de Toulouse- Octobre 2010.

[III.5] « Etude des effets non linéaires élastiques dans les fibres optiques » sahraoui djilani master en électronique. Université echahid hamma lakhdar -el-oued (2016)

[III.6] Etude d'une structure de liaison par fibre optique caractérisation de la propagation et bilan énergétique, Mémoire de magister en électronique, Préparée au Laboratoire LGEB (Laboratoire de Génie Electrique de Biskra, Riadh SAIDI /2009

[III.7] « Étude et conception des fibres optiques microstructurées » BOUTELLI KHAOULA et BENTOUATI SOUMIA, MASTER en Systèmes des télécommunications, UNIVERSITE KASDIMERBAH OUARGLA(2021)

[III.8] A. Daoui « Fibres optiques microstructurées : Modélisation et optimisation des propriétés optiques » Magistère. Université Badji Mokhtar, Annaba, 2009

[III.9] généralité sur les fibres optique pdf, [www .amphenol socapex.com](http://www.amphenol-socapex.com), christian.weiss@acbordeaux.fr

[III.10] These IGE 24. Liaison Par Fibre Optique à Haut Débit.

- [III.11] « Liaison par fibre optique à haut débit Etude des liaisons polychromatiques » Thinhinane BENEDINE et Fatma BESSEDIK, diplôme d'ingénieur d'état en électronique en Instrumentation Communication. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (2011)
- [III.12] M. Ouertani, « Fibres Optiques », Chapitre 2, Département Architecture des systèmes et des réseaux ISI, 2008/2009.
- [III.13] H.ITGARETS, N.REZKELLAH, « Optimisation des Paramètres d'une Liaison à Fibre Optique » mémoire de master, Université A.MIRA, Bejaïa, 2015
- [III.14] <https://www.meetoptics.com/academy/fiber-bundles-and-light-guides#fiber-bundles-and-light-guides>
- [III.15] « liquid-lightguide » <https://lumatec.de/en/liquid-lightguide>
- [III.16] https://pmb.univ-saida.dz/butecopac/doc_num.php?explnum_id=637
- [III.17] Les Fibres Optiques. Jean Pierre NEROU. Le Griffon D'argile INC.
- [III.18] site web, igm.univ-mlv.fr : l'ouverture numérique d'une fibre
- [III.19] Standards and Technology Department. Measurement of the Effective Area of SingleMode Optical Fiber. Arlington 1998.
- [III.20] « Dimensionnement d'un site pour l'installation de réseau FTTH » AMARICHE Aamer et GHOMARI Mohamed El-Yazid, MASTER EN GENIE ELECTRIQUE. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem(2023)
- [III.21] « Etude et Application de la transmission SDH via fibre optique. » BOUBRIK NACER et CHAMEK SAID et FERHANI SAMIA Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electronique. UNIVERSITE MOULOU MAMMERI, TIZI-OUZOU(2009)
- [III.22] <http://claude-gimenes.fr/signal/telecommunications/-v-communications-optiques-fibre-optiqueet-propagation>
- [III.23] Oliver Graydon (June 18, 2004). "European acquisitions fuel appetite for growth". Optics.org. Retrieved February 24, 2015.
- [III.24] Cours communications optiques Master 2 ST. Mr BORSALI Ahmed Riad -Université Abou Bakr Belkaid - Tlemcen-

[III.25] Laurie Gordon (30 septembre 2013). "Focus sur la forme physique au cœur de Thor Labs". Le Sparta Indépendant. Récupéré le 23 février 2015.

[III.26] Oliver Graydon (June 18, 2004). "European acquisitions fuel appetite for growth". Optics.org. Retrieved February 24, 2015.

[III.27] Scruton, Bruce A. (24 mars 2012). "Newton accueille Thorlabs". KWWL. Récupéré le 23 février 2015.

[III.28] « Multimode Round Fiber Optic Bundle Cables: SMA to SMA » www.thorlabs.com

[III.29] « Liquid Light Guides » www.thorlabs.com

Résumé

Le sujet abordé dans ce projet de fin d'études est l'étude comparative de deux fibres optiques pour le transport d'énergie solaire.

À cette fin, nous procéderons d'abord à une analyse comparative entre deux types de fibres optiques utilisées dans le domaine du transport d'énergie solaire. Nous examinerons en détail les caractéristiques clés de performance telles que l'ouverture numérique et l'atténuation, ainsi que les coûts typiques associés aux fibres disponibles sur le marché actuel.

Les résultats obtenus sont analysés et discutés afin de déterminer quelle fibre optique est la plus adaptée pour le transport efficace de l'énergie solaire. Ce travail fournit ainsi des informations précieuses pour orienter le choix des professionnels et des chercheurs dans le domaine de l'énergie solaire, en mettant en lumière les avantages et les limitations de chaque type de fibre optique.

Mots clés : Energie solaire, fibre optique, Concentrateur, coût,

Abstract

The subject of this graduation project is the comparative study of two optical fibers for solar power transmission.

To this end, we will first carry out a comparative analysis between two types of optical fiber used in solar power transmission. We will examine in detail key performance characteristics such as numerical aperture and attenuation, as well as typical costs associated with fibers available on the market today.

The results obtained are analyzed and discussed in order to determine which optical fiber is most suitable for the efficient transport of solar energy. This work thus provides valuable information to guide the choice of professionals and researchers in the field of solar energy, highlighting the advantages and limitations of each type of optical fiber.

Keywords: Solar energy, Optical fiber, Concentrator, Cost.

ملخص

موضوع مشروع التخرج الدراسة المقارنة بين نوعين من الألياف الضوئية لنقل الطاقة الشمسية

وتحقيقاً لهذه الغاية، سنقوم أولاً بإجراء تحليل مقارنة لنوعين من الألياف الضوئية المستخدمة في نقل الطاقة الشمسية. يتم فحص خصائص الأداء الرئيسية مثل الفتحة العددية والتوهين بالتفصيل، وكذلك التكاليف النموذجية المرتبطة بالألياف المتاحة في السوق اليوم.

يتم تحليل النتائج التي تم الحصول عليها ومناقشتها من أجل تحديد الألياف الضوئية الأكثر ملاءمة لنقل الطاقة الشمسية بكفاءة. وبالتالي يوفر هذا العمل معلومات قيمة لتوجيه اختيار المهنيين والباحثين في مجال الطاقة الشمسية، من خلال تسليط الضوء على مزايا وقيود كل نوع من الألياف الضوئية.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، الألياف الضوئية، المكثف، التكلفة.